87-04638/

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA

COMITÉ ASSOCIÉ SUR LES CRITÈRES SCIENTIFIQUES

CONCERNANT L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT

EXPOSITION DE LA MAIN AUX VIBRATIONS DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

par

A.J. Brammer

Préparé à l'intention du sous-comité des phénomènes d'énergie physique

Publication CNRC n° 22845

du

Secrétariat de l'environnement

Droits de la Couronne réservés

1984

En vente, moyennant
commandes prépayées, au:

Service des publications, NRCC/CNRC
Ottawa, Canada K1A 0R6

Prix: 5,00$

Le Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement a été créé par le Conseil national de recherches du Canada en réponse à un mandat du gouvernement fédéral visant à élaborer des directives scientifiques pour définir la qualité de l'environnement. Ce Comité s'intéresse strictement aux critères scientifiques, les normes de pollution et les objectifs étant la responsabilité des autorités de réglementation et étant établis dans le but de lutter contre la pollution. Ces normes et objectifs sont d'abord basés sur des critères scientifiques, mais ils tiennent compte également de l'impact socio-économique optimal des mesures proposées ainsi que de l'état de la technologie existante.

Le programme du Comité associé comprend l'évaluation des données disponibles relatives à la probabilité des effets de produits de contamination sur les organismes récepteurs, ainsi que l'appréciation des principes fondamentaux et des connaissances scientifiques qui y sont apparentés. On s'intéresse surtout aux produits de contamination et aux organismes récepteurs (et leurs interactions) qui sont importants pour notre pays, car les évaluations faites dans d'autres pays ou dans d'autres régions ne s'avèrent pas toujours pertinentes pour le Canada.

Les membres du Comité associé, de ses Sous-comités et de ses Groupes d'experts siègent à titre volontaire et sont choisis suivant leur compétence individuelle et leur expérience applicable, tout en tenant compte de l'équilibre qu'il faut conserver entre tous les secteurs au Canada. La responsabilité de la qualité des documents d'étude appartient au Comité associé. Chaque rapport est soigneusement revu suivant une méthode comprenant des étapes multiples, méthode qui a été établie et qui est contrôlée par le Conseil national de recherches du Canada, afin de conserver l'objectivité dans la présentation de connaissances scientifiques, la publication et la diffusion d'un rapport n'étant effectuées qu'après révision complète.

Nous invitons les intéressés à émettre des commentaires sur les documents du Comité associé, commentaires qui seront ensuite soigneusement revus par des Groupes d'experts. On envisage la révision périodique de ces critères scientifiques au fur et à mesure des nouvelles connaissances.

Tous les ouvrages publiés par le Comité associé le sont en français et en anglais.

TABLE DES MATIÈRES

		PAGE
LISTE DES FIGURES		6
LISTE DES TABLEAUX		8
REMERCIEMENTS		9
PRÉFACE		10
INTRODUCTION		11
1.0	LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR LA MAIN ET LE BRAS	13
1.1	Signes, symptômes et physiopathologie de troubles courants	13
1.2	Détermination des signes et symptômes causés par les vibrations	18
1.3	Classification des signes et des symptômes selon leur gravité	20
1.4	Les facteurs qui influent sur la gravité de l'exposition aux vibrations	22
1.5	Prévention et traitement	25
2.0	RELATIONS DOSE-EFFET	27
2.1	Apparition du blanchissement des doigts	30
2.2	Relations dose-effet pour d'autres signes et symptômes	35
2.3	Limites et précision	38
3.0	EXPOSITION AUX VIBRATIONS TOLÉRABLE POUR LA TOTALITÉ D'UNE JOURNÉE DE TRAVAIL	41
3.1	Extrapolation des relations dose-effet	41
3.2	Prédictions établies à l'aide de comparaisons des données contenues dans des études transversales et rétrospectives sur les activités professionnelles	48
3.2.1	Etudes épidémiologiques et mesurage des vibrations réalisés par Miura et ses collaborateurs	48
3.2.2	Analyse de la littérature pertinente par Griffin	48
3.3	Prédictions basées sur des études prospectives	50
3.4	Seuil de vibration	53
3.5	Expositions tolérables	56
BIBLIOGRAPHIE		59

LISTE DES FIGURES

FIGURE		PAGE
1-1	Les mains d'un tailleur de pierre de 28 ans, révélant les signes et symptômes après sept ans d'utilisation d'un marteau pneumatique (les cinq dernières années ont entraîné une exposition constante aux vibrations).	14
1-2	Représentation schématique des divers groupes de signes et de symptômes et de leurs liens probables aux stimulus physiques et psychologiques provoqués par l'exposition du système main-bras aux vibrations.	17
2-1	Progression d'un symptôme du syndrome des vibrations du système main-bras parmi les membres d'un groupe donné, exprimée en fonction du temps d'exposition des membres du groupe.	28
2-2	Réactions physiologiques, psychophysiques et subjectives aux vibrations, servant à déterminer les amplitudes vibratoires qui présentent des risques équivalents, pour diverses fréquences.	31
2-3	(a) Systèmes de coordonnées biodynamique et basicentrique relatifs à la main, indiquant les directions des composantes vibratoires X_h, Y_h et Z_h.	32
	(b) Caractéristiques du gain du réseau de filtrage utilisé pour pondérer en fréquence l'accélération.	
2-4	Temps d'exposition avant l'apparition d'épisodes de blanchissement des doigts parmi les membres d'un groupe de personnes exposé à une accélération pondérée en fréquence d'une valeur efficace connue; le temps est exprimé sous forme de pourcentage du nombre total des personnes finalement atteintes.	34
2-5	Application des relations dose-effet concernant l'apparition des doigts blancs, à d'autres symptômes du syndrome des vibrations du systèmes main-bras.	37
3-1	Périodes de latence du blanchissement des doigts signalées par plus d'un membre d'un groupe, exprimées en fonction du temps d'exposition.	43

LISTE DES FIGURES

FIGURE		PAGE
3-2	Extrapolation des relations dose-effet dans le but de prédire la période de latence médiane pour un groupe au sein duquel la prévalence est de 37%, comparée aux données concernant un groupe d'utilisateurs de meuleuses à main ayant la même prévalence.	45
3-3	Prédiction du temps d'exposition précédant le premier épisode de doigts blancs pour certains percentiles d'un groupe exposé à une accélération (valeur efficace) pondérée en fréquence, a_K, pour la totalité de la journée de travail. La fonction de distribution cumulative est également présentée.	47
3-4	Déplacements efficaces maximaux (en mm), dans des bandes étroites, de divers outils électriques tenus à la main et de diverses machines-outils, en fonction des fréquences de vibration fondamentales.	49
3-5	Rapport entre la prévalence des doigts blancs dûs aux vibrations et l'accélération pondérée en fréquence (valeur efficace) produite par l'outil électrique (ou la pièce à usiner) utilisé par 23 groupes de travailleurs.	51
3-6	Prévalence de certaines phases des doigts blancs dûs aux vibrations d'après une étude prospective d'un groupe d'utilisateurs de tronçonneuses; au cours de la période visée, la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence subie par les mains a été nettement réduite par l'introduction de tronçonneuses dotées de poignées antivibration.	52

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU		PAGE
1-1	Les causes du phénomène de Raynaud secondaire	19
1-2	Classification Taylor-Pelmear des doigts blancs dûs aux vibrations, par phases.	21
1-3	Facteurs déterminant, manifestement ou vraisemblablement, la gravité de l'exposition professionnelle à des vibrations transmises par la main.	23
2-1	Règles concernant la sélection de données épidémiologiques	36
3-1	Prédiction relative au temps d'exposition nécessaire avant le premier épisode de doigts blancs, pour certains percentiles d'un groupe exposé pendant toute la journée de travail à une accélération pondérée en fréquence d'une valeur efficace donnée.	46
3-2	Seuil de vibration en ce qui concerne le syndrome des vibrations du système main-bras, calculé au moyen de quatre méthodes différentes (et exprimé sous forme de la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence en $m.s.^{-2}$).	54
3-3	Limites établies dans les propositions récentes de l'ISO (exprimées sous forme d'accélération pondérée en fréquence en $m.s^{-2}$ (valeur efficace)) en ce qui concerne une exposition quotidienne aux vibrations d'entre quatre et huit heures.	57

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier tout particulèrement M. William Taylor, professeur honoraire de l'Université de Dundee, en Écosse, pour sa participation à de nombreuses et stimulantes conversations qui lui ont permis de comprendre les phénomènes médicaux complexes qui sont au coeur de cette question.

Au professeur, W. Taylor, à John Wiley and Sons, de New York et au Journal of Low Frequency Noise and Vibration, l'auteur exprime sa reconnaissance pour avoir accordé la permission de reproduire les tableaux, figures et extraits (avec modification), des communications mentionnées ci-dessous[α]. Les sources des tableaux et des figures sont identifiées dans le corps du texte.

α "Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry", édité par John Wiley & Sons, New York (1982):

Introduction: p. 11, lignes 4-25, 40-43; and p. 2, lignes 10-45.

Partie I: p. 2, lignes 61-99, 105-121, 127-132; p. 3, lignes 1-25, 32-68, 76-89, 115-133; p. 4, lignes 1-19, 23-46; p. 5, lignes 7-92; p.6, lignes 104 - p. 17, ligne 33; p. 9, lignes 77-87, 101-113, 120-125; et p. 10, lignes 1-34.

Partie III: p. 291, lignes 40-45; p. 292, lignes 1-13, 66-78; p. 293, lignes 6-36; p. 294, lignes 20-33, 41-48, 59-76; p. 295, lignes 1-13, 31-34; p. 296, lignes 1-15, 27-38; p. 297, lignes 1-63, 69-89, 93-108; et p. 298, ligne 1 - p. 299, ligne 11.

Journal of Low Frequency Noise and Vibration, Special Volume #1 (1983), édité par Multi-Science Publishing Co. Ltd.

Partie II: p. 151, lignes 3-15; p. 152, lignes 21-25, 29-55; p. 153, lignes 1-14, 27-33, 38-56; p. 154, lignes 1-8, 26-49; p. 155, lignes 1-2,11-39.

EXPOSITION DE LA MAIN AUX VIBRATIONS DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

PAR

A.J. BRAMMER

CNRC Nº. 22845

PRÉFACE

L'insistance sur l'augmentation de la production et de l'efficacité dans le secteur industriel a entraîné une utilisation de plus en plus répandue d'outils électriques et d'autres machines à main et de procédés industriels qui transmettent des vibrations à la main et aux bras. Seulement au Canada, on estime que plus de 200 000 travailleurs des secteurs minier, forestier, métallurgique, automobile, de la construction, etc. sont exposés à des vibrations et par conséquent, courent le risque de subir une blessure ou de contracter une maladie professionnelle. L'ampleur du problème est extrêmement difficile à mesurer à l'aide des registres médicaux parce que, dans le passé, la symptomatologie en cause n'était pas souvent reconnue par les médecins et que les diagnostics pertinents n'établissaient pas de lien avec les vibrations. La chose a été relativement négligée pour cette raison.

La présente étude vise à measurer les conséquences d'expositions répétées de la main aux vibrations dans le secteur industriel. Elle a été rédigée par A.J. Brammer de la Division de la physique du Conseil national de recherches du Canada, à la demande du Sous-comité des phénomènes d'énergie physique, qui fait partie du Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnment (Conseil national de recherches).

Trois communications du même auteur ont servi de sources pour le présent document:

1) Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry: An Introduction and Review (en collaboration avec W. Taylor);

2) Threshold Limit for Hand-Arm Vibration Exposure throughout the Workday; et

3) Dose-Response Relationships for the Hand-Arm Vibration Syndrome with Reference to Neuro-Vegetative Effects.

Les deux premières communications ont paru dans: "Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry" (Brammer et Taylor 1982) et la troisième a paru récemment dans le Journal of Low Frequency Noise and Vibration (Brammer 1983a).

INTRODUCTION

Depuis longtemps, les opérateurs de tronçonneuses, de marteaux perforateurs, de marteaux piqueurs, de meuleuses et de nombreux autres outils et machines électriques, et les personnes dont les fonctions les exposent à certains procédés industriels, font état de picotements, d'engourdissements et de pâlissement de leurs doigts. En effet, des épisodes de "doigts blancs", "doigts cireux", "doigts morts" ou "main engourdie" ont été signaleés pour la première fois dans la littérature médicale entre 1911 et 1920, dans des études réalisées par Loriga (1911), Hamilton (1918) et Rothstein (1918). Le spasme des artères des doigts a été imputé à juste titre aux vibrations des perforatrices rotatives pneumatiques utilisées couramment à l'époque par les tailleurs de pierre et les mineurs. Il a également été reconnue que les signes et les symptômes vasculaires ressemblaient à des phénomènes de vaso-constriction spontanés provoqués par l'exposition au froid, décrits pour la première fois par Raynaud en 1862. Ce dernier avait décrit une affection, touchant surtout des femmes, dans laquelle le moindre stimulus provoque un blanchissement et un refroidissement soudains d'un ou de plusieurs doigts, le facteur déterminant étant l'impression de froid (Raynaud 1888). Cette entité clinique, constatée chez 5 à 10% de la population féminine et, à l'occasion, chez les personnes du sexe masculin (ces gens étant par ailleurs des personnes d'une constitution normale et en santé), est connue encore de nos jours sous le nom de maladie de Raynaud (ou gangrène symétrique des extrémités). La physiopathologie sous-jacente n'a pas encore été établie, mais il semble y avoir de fortes composantes héréditaires et psychosomatiques. On sait maintenant que des signes et symptômes analogues peuvent être causés par certaines maladies, et cette dernière affection est désignée phénomène de Raynaud secondaire.

L'étroite association qui existe entre les accès de doigts blancs et la transmission de vibrations aux mains, a donné lieu à la création de l'expression descriptive "doigts blancs dûs aux vibrations", bien que l'état soit encore connu sous le nom de "maladie vasospastique traumatique" dans certaines parties de l'Europe. Cependant, le picotement, l'engourdissement et le fourmillement des doigts sont des sensations courantes, les cas avancés subissant une perte de sensibilité du toucher et ressentant de la douleur et une sensation de chaleur entre angiospasmes. En outre, il existe des indications d'une réduction de la force de préhension, de l'existence de kystes osseux dans les doigts et les poignets, d'une dégénérescence des articulations du poignet et du coude ainsi que de réponses végétatives portant à croire que le système nerveux central est atteint. Devant l'intérêt accru pour les effets des vibrations sur la main et le bras (Teleky 1938; Klimkovà-Deutschovà 1966; Hasan 1970; Kumlin et coll. 1973; Pyykkö 1976; Färkkilä et coll. 1982), la nomenclature relative à cette entité clinique exigeait nettement un élargissement. Le complexe des doigts blancs dûs aux vibrations et la pathologie connexe au niveau des systèmes autres que le système artériel, porte maintenant le nom de

syndrome des vibrations ou, plus précisément, de syndrome des vibrations du système main-bras, pour les distinguer des troubles provoqués par la vibration du corps entier.

La reconnaissance du syndrome des vibrations du système main-bras comme une maladie industrielle a rencontré plusieurs obstacles:

1) l'absence d'une prise de conscience du syndrome par les médecins;

2) la difficulté de faire une distinction entre ce syndrome et les autres causes de signes et de symptômes analogues;

3) le caractère superficiellement banal de la déficience dans les cas où il n'existe aucune indication d'une chute de rendement ou de perte de temps, au travail ou à l'extérieur;

4) l'absence d'une mesure objective ou psychophysique de la gravité de l'état (contrairement à la détermination des seuils d'audition par des moyens audiométriques dans le but de mesurer la gravité d'une perte d'audition provoquée par le bruit), le diagnostic devant être basé surtout sur les rapports subjectifs des personnes concernant la fréquence et l'intensité des crises et le niveau de perturbation de leurs activités; et

5) l'absence d'une mesure reconnue, et d'une limite admissible, de l'exposition aux vibrations.

Dans cette monographie, les conséquences d'une exposition fréquente de la main aux vibrations dans le secteur industriel, sont examinées. L'utilisation occasionnelle des outils électriques à main dans l'industrie et l'utilisation intermittente de produits destinés au consommateur n'entrent donc pas en ligne de compte, tout comme l'exposition du corps entier aux vibrations. Les signes et les symptômes couramment associés au syndrome des vibrations du système main-bras sont présentés dans la partie 1, ainsi que leur physiopathologie profonde et leur classification en fonction de leur gravité. Les facteurs qui conditionnent la gravité de l'exposition aux vibrations sont examinés, ainsi que les moyens possibles de limiter les effets nuisibles pour la santé découlant d'une exposition fréquente. Les quelques relations dose-effet établies pour les composantes du syndrome des vibrations du système main-bras sont étudiées à la partie 2, tandis que dans la troisième partie, l'auteur aborde les méthodes permettant de définir un niveau de vibration qui puisse être toléré pendant la totalité d'une journée de travail.

1.0 LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR LA MAIN ET LE BRAS

1.1 SIGNES, SYMPTÔMES ET PHYSIOPATHOLOGIE DE TROUBLES COURANTS

Les premiers symptômes qui apparaissent lorsqu'on effectue un travail dans lequel des vibrations sont transmises aux mains, sont des picotements et un engourdissement. Les doigts peuvent également enfler et se raidir, bien que ces derniers symptômes disparaissent souvent au cours de l'arrêt de travail du weekend. Si l'exposition aux vibrations se prolonge (en général, sur une période de plusieurs années), le bout des doigts pâlit. Ce blanchissement épisodique du bout des doigts est en général précipité par le froid, mais le lien entre ce signe physique et les vibrations n'est souvent pas remarqué par ceux qui sont touchés. L'intervalle de temps entre le commencement de l'exposition aux vibrations et l'apparition du premier bout de doigt blanc est connu sous le nom de période de latence du blanchissement des doigts, et est lié au rythme auquel les vibrations pénètrent dans les main : plus la période de latence est courte, plus rapide est la progression des troubles. Lorsque l'exposition se prolonge, la région qui blanchit au cours d'une crise s'étend du bout à la base du doigt. À ce stade, plusieurs doigts peuvent être en cause, principalement ceux qui entrent en contact avec les vibrations les plus intenses (Färkkilä et coll. 1978), de sorte que les régions touchées sont souvent distribuées de manière asymétrique sur les mains, comme l'indique la figure 1-1 (Rothstein 1918). Avec le temps, trois ou quatre doigts de chaque main sont sujets à des angiospasmes, le pouce étant en général le dernier doigt touché.

Les symptômes produits par l'ischémie artérielle, soit le blanchissement, l'arrêt de la circulation et l'hyperémie réactionnelle (tous ces symptômes sont normalement provoqués par le froid) sont les principaux phénomènes du syndrome des vibrations du système main-bras. Cependant, l'atteinte des nerfs périphériques, révélée par l'engourdissement et la paresthésie qui touchent souvent des régions plus grandes, provoque autant d'inquiétude que les angiospasmes (voir figure 1-1). Ces symptômes peuvent troubler le sommeil en réveillant le travailleur et sont probablement asssociés à des changements dégénératifs au niveau des mécanorécepteurs (Walton 1974). En outre, il se produit des réductions mesurables de la sensiblité du toucher (Pelmear 1973), de la force de préhenison (Färkkilä et coll. 1982) et de la dextérité (Banister et Smith 1972). Les changements neurologiques et musculaires coïncident avec le processus de vasoconstriction mais, récemment, on a relevé certains indices d'un développement indépendant (Pyykkö et coll. 1982).

Dans les cas avancés, les épisodes de pâleur sont remplacés par une cyanose persistante des doigts, les vaisseaux sanguins ne sont plus capables de se contracter et de se dilater et la circulation du sang est ralentie. Cela peut entraîner le malnutrition et l'atrophie de la peau au bout des doigts, entraînant la nécrose des tissus et la gangrène dans un petit nombre de cas. Heureusement, ces manifestations

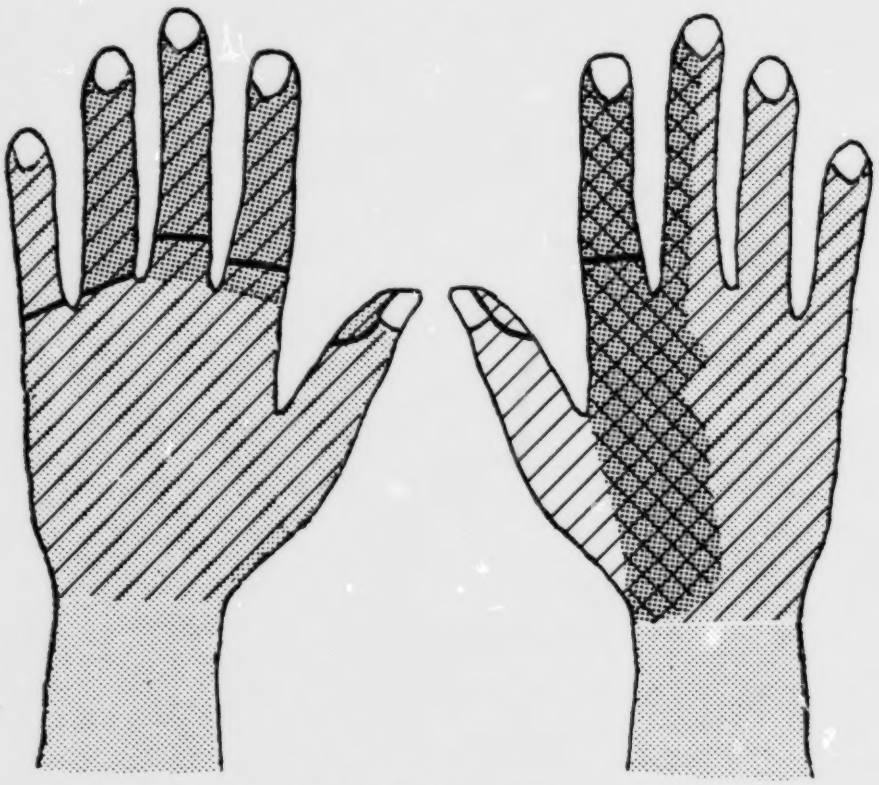


Figure 1-1. Les mains d'un tailleur de pierre de 28 ans, révélant les signes et symptômes après sept ans d'utilisation d'un marteau pneumatique (les cinq dernières années ont entraîné une exposition constante aux vibrations). Les diminutions de la sensibilité du toucher et de la sensation de la douleur ont été mesurées par des tests neurologiques classiques, et la limite des régions de pâleur, indiquée par les traits gras noirs, a été révélée par l'immersion des mains dans de l'eau froide (d'après Rothstein 1918).

tardives des doigts blancs dûs aux vibrations sont rares, parce que les cas graves abandonnent en général les traveaux qui entraînent une exposition aux vibrations. Malheureusement, c'est le travailleur qui n'est pas disposé à chercher un autre emploi parce qu'il ne veut pas perdre les compéteneces acquises, qui est le plus en danger.

L'arbre vasculaire des doigts semble être la cible principale. La circulation sanguine est réduite par l'occlusion de l'artère digitale au cours d'une crise de doigts blancs dûs aux vibrations et à l'état de repos basal, et surtout dans les conditions produites au cours d'une crise déclenchée par le froid. Raynaud a supposé que la vasoconstriction était provoquée par une régulation excessive des artères digitales par le système nerveux sympathique et qu'une hyperactivité déclenchée par un stimulus froid était à la base des crises épisodiques. Malgré l'attrait de cette théorie (et après 120 années de spéculations plus poussées), elle n'a jamais été confirmée. En outre, les nombreux traitements visant à réduire au maximum la régulation du tonus vasomoteur par le systéme nerveux sympathique, y compris la sympathectomie cervicale, n'ont eu aucun succès. Lorsque l'activité nerveuse sympathique est coupée par des moyens chirurgicaux, on constate une dilatation immédiate des vaisseaux périphériques mais, au bout de six à huit mois, des crises épisodiques réapparaissent. Les fibres sympathiques adrénergiques compriment les artères digitales mais ces dernières ne sont pas alimentées par des fibres vasodilatatrices. La dilatation réflexe ne se produit que lorsque l'influence du sytème nerveux sympathique est éliminée.

Ainsi, le tonus vasomoteur doit subir directement l'influence de facteurs "locaux", notamment des médiateurs chimiques comme la sérotonine et les prostaglandines, la thromboxane A2 en particulier (qui est un vasodilatateur puissant). On croit que l'interaction de ces agents régit l'installation (et la clearance) des thrombi plaquettaires à l'intérieur du système vasculaire (Moncada et coll. 1977). On a constaté que les cas avancés de maladie de Raynaud primaire et de phénomène de Raynaud secondaire accompagnés de nécrose et d'ulcération de tissus, avaient des thrombi dans les petits vaisseaux des doigts (Lewis et Pickering 1934; Lewis 1938; Pickering 1951). Les thrombi sont présents également dans les cas avancés de doigts blancs dûs aux vibrations (James et Galloway 1975). Dans tous ces cas, une hyperviscosité sanguine peut également jouer un certain rôle (Pringle et coll. 1965; Okada et coll. 1982).

Les crises répétées d'ischémie suite à des expositions aux vibrations, produisent des changements pathologiques dans les parois des artères (Ashe et coll. 1962). Chez les cas précoces, on constate une hypertrophie de la média alors que le vaisseau conserve la possibilité de se contracter et de se dilater. Les cas graves ont une hypertrophie générale de l'intima, accompagnée d'une quasi-oblitération du vaisseau (et, par conséquent, d'une cyanose permanente des doigts). Le mécanisme qui cause ces altérations des parois est inconnu. L'augmentation du

volume de la média constatée chez les cas peu avancés de doigts blancs dûs aux vibrations est accompagnée, selon certains, d'une hypersensibilité au froid. Ici encore, le mécanisme est inconnu. Lewis (1949) a postulé que les extrémités des nerfs vasoconstricteurs sont atteints et que leur sensibilité au froid est accentuée. Marshall et ses collaborateurs (1954) ont signalé que la perte de sensibilité atteint un endroit plus près de la racine des doigts que le blanchissement (voir figure 1-1), ce qui indique encore une fois qu'il s'agit de nerfs endommagés. Magos et Okos (1963) ont avancé qu'un mécanisme vasoconstricteur biochimique suractif se développe à l'intérieur des vaisseaux lorsqu'ils sont exposés aux vibrations et que, par conséquent, l'hypersensibilité pourrait être due à une accumulation de substances vasoactives telles les prostaglandines et la noradrénaline (Azuma et Ohhashi 1982).

Compliquant encore le tableau d'un phénomène autrefois considéré périphérique ou segmentaire, certains chercheurs soviétiques et japonais ont avancé que l'exposition de la main aux vibrations influe sur la totalité de l'organisme, par l'entremise du système nerveux central. On a récemment fait état de données indiquant que les operateurs de certain gros outils électriques, surtout des tronçonneuses, souffrent de symptômes neurologiques et psychosomatiques dont les sources sont les centres réflexes du cerveau. Ces symptômes comprennent une transpiration excessive des paumes des mains, le vertige, des maux de tête, l'insomnie, l'anxiété, l'irritabilité, le manque de mémoire et l'impuissance (Futatsuka et coll. 1980).

Ces effets neurovégétatifs sont symptômatiques d'un syndrome de stress lié à l'utilisation d'outils électriques et sont vraisemblablement imputables à des travaux manuels exténuants, au grand risque de blessure au travail et à l'exposition au bruit et à des extrêmes de température, plutôt qu'à l'exposition aux vibrations (Brammer 1983a). Le rôle de ces agents, individuellement ou collectivement, dans la précipitation des symptômes du système nerveux autonome n'est pas clair à l'heure actuelle. Cependant, la transmission directe de vibrations de très basse fréquence de la main à la tête et par conséquent au cerveau, ne peut être exclue.

La figure 1-2 tente d'établir un rapport entre les réactions physiologiques et les stimuli physiques et psychologiques produits par une exposition du système main-bras à des vibrations. Elle doit être considérée quelque peu spéculative, vu le caractère incomplet des connaissances actuelles relatives aux mécanismes en cause. Dans le diagramme, les rapports de cause à effet nets, dont la preuve a déjà été faite ou dont on soupçonne l'existence, sont indiqués par des traits larges, et les effets légers, par des traits fins. Les rapports possibles sont indiqués par des traits tiretés.

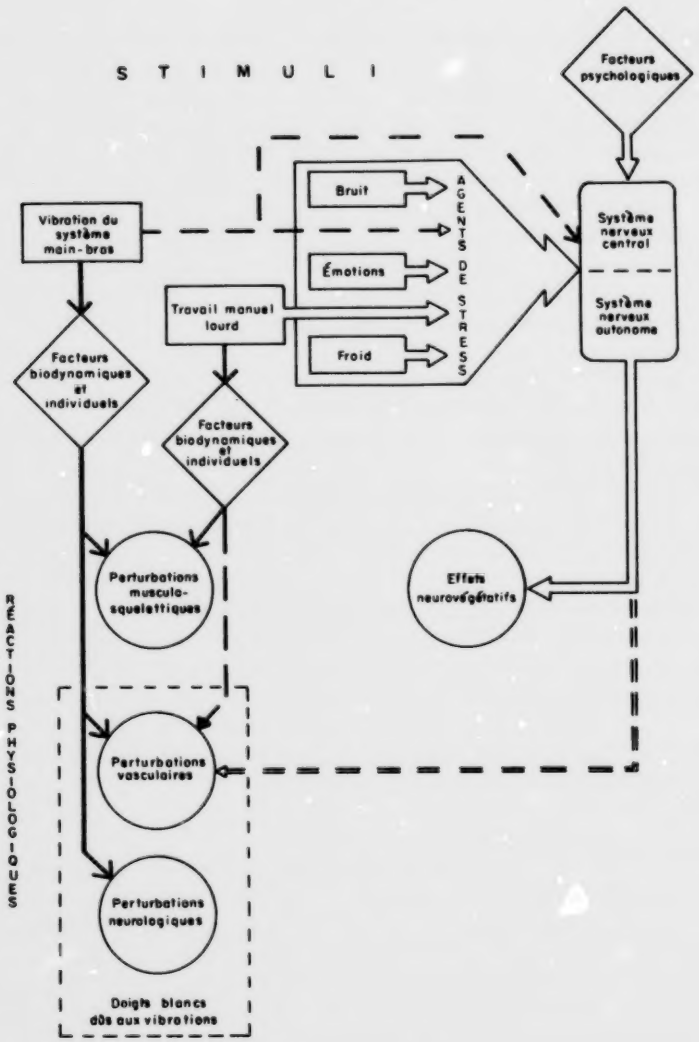


Figure 1-2. Représentation schématique des divers groupes de signes et de symptômes (cercles) et de leurs liens probables aux stimuli physiques et psychologiques (rectangles) provoqués par l'exposition du système main-bras aux vibrations. Les rapports de cause à effet sont indiqués par des traits, les plus incertains étant indiqués par des tirets : les traits larges sont des liens étroits tandis que les traits fins sont des liens faibles. Les facteurs biodynamiques, individuels et psychologiques (la personnalité), qui diffèrent d'une personne à l'autre et, par conséquent, modifient les effets des stimuli, sont représentés par des losanges (les deux premiers sont présentés au tableau 1-3).

1.2 DÉTERMINATION DES SIGNES ET SYMPTÔMES CAUSÉS PAR LES VIBRATIONS

Les signes et symptômes liés à une exposition aux vibrations ne sont pas exceptionnels et doivent être distingués des signes et symptômes analogues dont les causes sont différentes. Par conséquent, un diagnostic différentiel minutieux est de mise; ce diagnostic identifie la maladie primaire de Raynaud par son apparition précoce (60% des personnes atteintes ont des symptômes à 30 ans), par son apparence bilatérale et symétrique en réaction au froid et, souvent, au stress, et par sa prédisposition familiale. Il faut exclure, bien sûr, les causes du phénomène de Raynaud secondaire.

Le phénomène de Raynaud secondaire est associé à bien des maladies, notamment aux artériopathies oblitérantes, aux syndromes canalaires, aux maladies du tissu conjonctif, aux traumatismes et à l'intoxication. Le tableau 1-1 fournit une liste complète des causes (Taylor et Pelmear 1975). La caractéristique commune à toutes ces causes, c'est l'influence des changements physiopathologiques constatés sur la circulation sanguine qui, lorsqu'elle est ralentie, fait pâlir les doigts par l'entremise d'une modification des gradients de pression, du diamètre des vaisseaux ou de la viscosité du sang. Cependant, des changements soudains au niveau du système vasculaire des doigts peuvent être causés par des blessures (lacérations et fractures) ou le gel (gelures). Dans une étude épidémiologique d'une population exposée à des vibrations, les causes du phénomène de Raynaud secondaire qui n'ont rien à voir avec l'exposition aux vibrations peuvent expliquer un nombre important des cas de doigts blancs signalés, et doivent par conséquent être identifiées.

La présence d'une dégénérescence des nerfs périphériques exige un diagnostic différentiel pour tenir compte des maladies neurologiques (Juntunen et Haltia 1982). Cela s'est avéré plus difficile que dans le cas des perturbations vasculaires, dans la mesure où les changements au niveau du système neurologique sont difficilement quantifiables surtout lorsqu'il s'agit de plaintes subjectives telles que les picotements, les engourdissements, une certaine maladresse et une difficulté à imprimer de manière précise des petits mouvements aux doigts. On a récemment constaté que la compression du nerf médian à l'intérieur du canal carpien au niveau du poignet (syndrome du canal carpien), qui entraîne une perte de sensibilité digitale dans l'aire du nerf médian (pouce et index, majeur et moitié de l'annuaire, sur la face palmaire), était une complication qui devait être exclue.

Dans la recherche des changements dégénértifs du système main-bras (vaisseaux sanguins, nerfs, os, articulations, tissus conjoncitifs) causés par les vibrations, il a été difficile, pour les auteurs d'études épidémiologiques, de faire la distinction entre les effets des vibrations et ceux des travaux manuels durs exigeant des mouvements répétitifs et constants des mains et des bras pour manipuler l'outil ou la pièce. De plus, les effets neurologiques d'une exposition

Tableau 1-1. Les causes du phénomène de Raynaud secondaire (adaptation autorisée par Taylor et Pelmear (1975)).

Maladies des tissus conjonctifs	Sclérodermie Lupus érythémateux aigu disséminé Polyarthrite rhumatoïde Dermatomyosite Périartérite noueuse Connectivite mixte
Traumatismes	1. Directement aux extrémités a) Suite à une blessure, à une fracture ou à une intervention chirurgicale b) D'origine professionnelle (vibrations) c) Gelure et main d'immersion 2. Aux vaisseaux proximaux, par compression a) Syndrome de la traversée thoraco-brachiale (côte cervicale, muscle scalène antérieur) b) Syndrome du défilé costoclaviculaire et syndrome d'hyperabduction
Maladies vasculaires occlusives	Thromboangéite oblitérante Artériosclérose Embolie Thrombose
Dysglobulinémie	Maladie des agglutinines froides Cryoglobulinémie Macroglobulinémie
Intoxication	Acro-ostéolyse Ergot de seigle Nicotine Chlorure de vinyle
Maladies neurogènes	Poliomyélite Syringomyélie Hémiplégie

de longue durée peuvent être plus visibles que les effets sur la circulation, en fonction du spectre de fréquences des vibrations transmises aux mains.

1.3 CLASSIFICATION DES SIGNES ET DES SYMPTÔMES SELON LEUR GRAVITÉ

Les conséquences de l'exposition des mains aux vibrations sont en général liées à la fréquence du blanchissement épisodique des doigts, à l'étendue de la région atteinte et à la facilité de déclenchement des angiospasmes. Les travailleurs de plein air exposés aux basses températures sont plus susceptibles d'être victimes de crises tôt le matin, surtout s'ils se rendent au travail en bicyclette ou en motocyclette. Lorsque les crises se multiplient, les travailleurs signalent qu'elles nuisent à leurs loisirs et à leurs activités à la maison. Ces plaintes sont difficiles à quantifier, mais elles n'en constituent pas moins une diminution certaine de la "qualité de la vie". Lorsque les crises se produisent à l'année longue, les victimes signalent que cela nuit à leur rendement au travail et que leurs doigts deviennent raides et maladroits, ce qui rend difficile les travaux de précision et le maniement de petits objets. Certaines des personnes dont l'état atteint ce niveau de gravité, constatent qu'elles ne peuvent plus travailler à l'extérieur par temps froid (Laroche 1976). Leur décision et probablement influencée par la perte de perception tactile et de force de préhension qui accompagne chaque exposition et, donc, qui se produit chaque jour (Lidström et coll. 1982; Pyykkö et coll. 1982). Ces changements, qui viennent s'ajouter à toute détérioration permanente du seuil de perception, peuvent être suffisamment importants pour diminuer la capacité de tenir ou de contrôler un objet, surtout un outil électrique (par exemple, une tronçonneuse) dont l'utilisation peut entraîner une blessure corporelle.

Vu la nécessité de tabler sur des rapports subjectifs concernant les crises, il n'est pas surprenant que plusieurs sytèmes différents aient été élaborés pour la classification des symptômes et la définition de l'importance de l'invalidité. Seuls les deux systèmes de classification les plus courants sont étudiés ici.

La description clinique des doigts blancs dûs aux vibrations de Taylor-Pelmear, qui reconnaît des "phases" (tableau 1-2), est utilisée couramment au Royaume-Uni depuis 1968, et a fait son apparition plus récemment aux États-Unis, au Canada et ailleurs (Taylor et Pelmear 1975). Au cours de la phase initiale (cas précoce), le travailleur se plaint de blanchissement d'un ou de plusieurs bouts de doigts; il n'y a pas de conséquence sur le travail ou sur les activités de loisirs. Ces cas précoces, généralement, souffrent d'abord de picotements, au travail et ailleurs, puis d'engourdissements qui peuvent durer après que le blanchissement ait été constaté. La phase 2 est une phase de transition. A la phase 3 (cas avancé), les travailleurs souffrent d'un blanchissement bilatéral des doigts, et signalent un dérèglement des

Tableau 1-2. Classification Taylor-Pelmear des doigts blancs dûs aux vibrations, par phases (selon Taylor et Pelmear (1975)).

Phase	État des doigts	Répercussions sur le travail et la vie sociale
0	Aucun blanchissement des doigts	Aucune plainte
0_p	Picotement intermittent	Aucun effet sur les activités
0_e	Engourdissement intermittent	Aucun effet sur les activités
1	Blanchissement d'au moins un bout de doigt avec ou sans picotement et engourdissement	Aucun effet sur les activités
2	Blanchissement d'au moins un doigt accompagné d'engourdissement: effet normalement ressenti l'hiver seulement	Légère intrusion dans les activités à la maison et les activités sociales. Aucune intrusion dans les activités au travail
3	Blanchissement important: épisodes fréquents l'ete et l'hiver	Répercussions certaines au travail, à la maison et sur les activités sociales; limitation des passe-temps
4	Blanchissement généralisé, la plupart des doigts sont atteints: épisodes fréquents l'été et l'hiver	Changement d'occupation pour éviter une exposition supplémentaire aux vibrations, à cause de la gravité des signes et des symptômes

Note: Les complications ne sont pas utilisées dans cette échelle.

activités à la maison et au travail à cause de la fréquence et de l'intensité des crises. Ils sont incapables d'effectuer des tâches exigeant de la précision et ils peuvent souffrir de paresthésie et d'insommie.

Au Japon, en Union Soviétique et dans certains pays de l'Europe de l'Est, la classification utilisée est basée sur les travaux soviétiques d'Andreeva-Galanina et de Drogitchina. Ces auteurs parlent de "niveaux", qui, eux aussi, privilégient les signes et les symptômes constatés chez la personne (Drogitchina 1971; Matoba et coll. 1975). Au niveau I, le phénomène de Raynaud secondaire est inactif mais il peut y avoir un engourdissement et des douleurs intermittentes dans les doigts et l'avant-bras et une légère transpiration des paumes. Au niveau II, le phénomène de Raynaud secondaire apparaît à l'occasion, accompagné d'un engourdissement accru, de douleurs, de refroidissement, de douleurs musculaires et de raideur articulaire dans les doigts et l'avant-bras. Un déclin de la puissance musculaire de la partie supérieure du bras et de la force de préhension fait également son apparition . Des céphalées sont souvent signalées et la transpiration des paumes augmente. Au niveau III, les angiospasmes sont plus fréquents et les symptômes au niveau des doigts et de l'avant-bras sont plus intenses. Il y a contraction légère des muscles et, à l'occasion, paralysie du nerf cubital. Des changements peuvent être décelés au niveau des os de l'articulation du coude et les paumes transpirent abondamment. Les symptômes de type névrotique tels que l'anxiété, un état de dépression et la difficulté à dormir, font également leur apparition. Enfin, au niveau IV, le phénomène de Raynaud secondaire est très fréquent et dominant, et peut même apparaître au niveau des jambes. La contraction musculaire, la paralysie des nerfs périphériques et des changements dans les os de l'articulation du coude apparaissent. L'instabilité nerveuse et les symptômes de type névrotique augmentent encore; des nausées et des étourdissements apparaissent également à l'occasion.

Il existe des différences nettement importantes entre ces systèmes de classification et au niveau de l'accent que mettent les deux écoles de pensée sur les éléments les plus importants du syndrome des vibrations du système main-bras, la première ne tenant compte que de ce qui est manifestement provoqué par les vibrations (voir figure 1-2). Le fait que les opérateurs d'outils électriques vibrants souffrent des symptômes décrits dans la classification soviétique n'est pas mis en doute; ce qui est mis en doute, c'est le lien établi entre ces symptômes et la vibration des outils, plutôt qu'un autre aspect du travail.

1.4 LES FACTEURS QUI INFLUENT SUR LA GRAVITÉ DE L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS

Une liste complète des nombreux facteurs qui, manifestement ou vraisemblablement, déterminent la gravité de l'exposition ou vibrations, est fournie dans le tableau 1-3 (Taylor et Pelmear 1975; Färkkilä et

Tableau 1-3. Facteurs déterminant, manifestement ou vraisemblablement, la gravité de l'exposition professionnelle à des vibrations transmises par la main (Taylor et Brammer 1982, avec la permission de John Wiley and Sons).

Facteurs physiques	Principales amplitudes vibratoires transmises à la main
	Principales fréquences des vibrations transmises par la main
	Nombre d'années de travail comportant une exposition aux vibrations
	Durée totale de l'exposition pour chaque jour de travail
	Répartition temporelle de l'exposition pour chaque jour de travail
	Direction principale des vibrations par rapport à la main
	Exposition non professionnelle aux vibrations
Forces biodynamiques	Forces de préhension de la main (compression et impulsion ou traction
	Superficie, position et masse des parties de la main qui entrent en contact avec la source des vibrations
	Posture (position de la main et du bras par rapport au corps)
	Divers facteurs influant sur le couplage des vibrations et de la main (par exemple, texture de la poignée de l'outil: souplesse ou rigidité du matériau)
Facteurs Individuels	Facteurs influant sur l'intensité de la source et le temps d'exposition (par exemple, le niveau d'entretien de l'outil, la vitesse de travail, l'habileté et la productivité de l'opérateur de l'outil ou de la machine-outil)
	Susceptibilité biologique aux vibrations
	Agents vasoconstricteurs influant sur la circulation périphérique (par exemple, le tabac, les drogues, etc.)
	Maladies prédisposantes ou blessures antérieures aux doigts ou aux mains (par exemple, traumatismes, lacérations, etc.)
	Taille et poids des mains
	Facteurs épidémiologiques (par exemple, l'âge du travailleur)

coll. 1979; ISO 1979; Matsumoto et coll. 1979; Griffin 1980; Miyashita et coll. 1982). Les études portant sur des groupes de travailleurs industriels effectuant le même travail depuis plusieurs années ont démontré que le risque de contracter le syndrome des vibrations du système main-bras augmente avec l'augmentation de la durée de l'exposition, et avec le rythme de transmission des vibrations à la main. Le premier facteur est fixé par le nombre d'années consécutives d'emploi imposant une exposition aux vibrations et la durée de l'exposition pendant chaque jour de travail, que certains chercheurs combinent pour obtenir le temps d'utilisation total. Le deuxième facteur est fixé par la nature des amplitudes et des fréquences dominantes de la source des vibrations, qu'il s'agisse d'un outil électrique tenu à la main, d'une machine-outil ou d'une pièce coulée qui est meulée), et par la nature du couplage entre la source et la main.

L'intensité de la source et le couplage de la source et de la main peuvent varier de manière appréciable au cours d'une certaine période, même s'il s'agit du même outil électrique, du même procédé industriel et du même opérateur. L'intensification des vibrations produites par la source est en général le résultat d'une détérioration de l'outil (par exemple, par suite de négligence au niveau de l'entretien, d'usure excessive et de vieillissement) et d'un contrôle défectueux de l'efficacité de l'exécution des tâches. Cette dernière catégorie comprend notamment les chaînes de tronçonneuses mal affûtées et les meules excentrées. Un travailleur peut en outre avoir une influence déterminante sur les vibrations transmises à ses mains, par sa méthode D'utilisation de l'outil ou de la machine-outil (par exemple, les commandes de réglage de la vitesse et de l'embrayage), par sa manière de tenir ou de supporter l'outil ou la piece et par la force masculaire qu'il exerce au cours du procédé. Ainsi des différences au niveau des méthodes de travail, de l'habileté et de la productivité entraînent des vriations de la gravité de l'exposition pour des travailleurs qui effectuent le même outil our la même machine-outil, puisque des facteurs biodynamiques et psychologiques (motivation) interviennent. En outre, des différences biologiques au niveau de la suceptibilité des êtres humains aux vibrations peuvent également influer sur la gravité de l'exposition.

Une description complète de l'exposition exigerait par conséquent le mesurage des amplitudes et des fréquences des vibrations transmises à chaque main, des forces de préhension exercées par les mains (dans des directions précises) et peut-être même de l'aire et de la position zone de contact de la peau et de la source, le tout en fonction du temps. Il n'est évidemment pas pratique de contrôler quotidiennement tous ces paramètres, ainsi que la posture et d'autres facteurs, pour chaque travailleur. Il devient alors nécessaire de réduire le problème à des proportions maniables en identifiant les paramètres qu'on estime être vraisemblablement dominants, et, de cette manière, déterminer avec efficacité la gravité de l'exposition aux vibrations. Ces paramètres constituent le premier groupe mentionné pouir chaque catégorie au tableau 1-3.

1.5 PRÉVENTION ET TRAITEMENT

La prévalence du syndrome des vibrations du système main-bras dans certains emplois (Griffin 1980), indique que nombre d'outils et de machines électriques existants transmettent des vibrations excessives aux mains. Le degré de réduction possible des vibrations produites par une source donnée dépend du principe de fonctionnment et de la conception de cette source. Plusieurs des modèles actuels d'outils électriques pourraient être améliorés par l'adjonction de systèmes d'isolation contre les vibrations sur les poignées (Miwa 1982) et il paraît vraisemblable que les outils et machines-outils électriques seront à l'avenir conçus de manière à réduire au maximum l'intensité des vibrations transmises par les mains (Redwood et coll. 1977; Gidlund et Lindqvist 1982).

En attendant la fabrication d'outils et de machines-outils électriques qui n'entraînent aucun risque de syndrome des vibrations du système main-bras, les mesures préventives sont le seul moyen de diminuer le risque pour la santé, puisque les gants sont inefficaces pour affaiblir les vibrations aux fréquences qui nous intéressent (≤500 Hz). Les mesures suivantes ont été proposées par l'Organisation internationale de normalisation (ISO 1984):

a) documentation de l'exposition aux vibrations subie auparavant;

b) dépistage avant l'embauche pour identifier les personnes atteintes de la maladie de Raynaud ou de maladies qui peuvent entraîner le phénomène de Raynaud secondaire (voir tableau 1-1) ou encore de neuropathie périphérique;

c) un examen médical annuel pour déceler les personnes susceptibles d'être atteintes du syndrome des vibrations du système main-bras;

d) sélection des outils électriques et des procédés qui produisent le minimum d'exposition aux vibrations (voir tableau 1-3); et

e) formation à l'utilisation de méthodes de travail qui réduisent au maximum les vibrations transmises par les mains; signalons:

   i) l'interruption de l'exposition en prévoyant des périodes de repos;

   ii) L'utilisation d'une force de préhension minimale tout en assurant la sécurité d'exploitation de l'outil ou de procédé; et

   iii) le port de vêtements appropriés, notamment de gants pour garder les mains au chaud et diminuer le risque de blessure.

En outre, Taylor et Brammer (1982) ont indiqué qu'il est souhaitable de soustraire les personnes à des expositions supplémentaires aux vibrations lorsqu'elles atteignent une phase ou un niveau précis du syndrome des vibrations du système main-bras, de préférence à la phase 1 ou au début de la phase 2 dans la classification de Taylor-Pelmear. Ils ont également signalé que les cas qui se détériorent devront être surveillés de près, puisque les indices épidémiologiques d'un rapport cumulatif entre certains signes et symptômes et les vibrations transmises par la main sont convaincants.

Pour les personnes atteintes du syndrome des vibrations du système main-bras, il n'existe pas de cure ou de traitement efficace. La thérapie est essentiellement palliative. La vasodilatation des vaisseaux périphériques par une action directe sous forme de chimiothérapie, n'a pas eu de succès et s'avère dangereuse dans de nombreux cas, par suite d'effets secondaires influant sur l'équilibre. L'échec des drogues ou de la chimiothérapie est dû à l'absence d'un agent thérapeutique qui agit de manière spécifique sur les artères digitales. Dans les cas avancés, les nerfs sympathiques sont bloqués ou sectionnés. La vasodilatation des vaisseaux digitaux après intervention chirurgicale est immédiate, mais, comme nous l'avons déjà signalé, l'amélioration est temporaire. Récemment, certains auteurs ont fait état d'un certain degré de succès grâce à des échanges répétés de plasma (Zahavi et coll. 1980), bien qu'il soit difficile de comprendre le mécanisme de ce traitement puisque l'atteinte du fibrinogène, des agglutinines froides ou des cryoglobulines n'a pas été démontrée en ce qui concerne les doigts blancs dûs aux vibrations. L'utilisation de kétansérine à également été signalée récemment pour le traitement du phénomène de Raynaud secondaire (Stranden et coll. 1982). Enfin, on a annoncé (Sedlacek 1979) un certain succès dans les cas de la biorétroaction.

2.0 RELATIONS DOSE-EFFET

Bien que des troubles neurologiques, vasculaires et musculosquelettiques aient été signalés pour nombre d'occupations transmettant des vibrations aux mains, les tentatives de découvrir les relations dose-effet pour tout symptôme attribué à l'exposition aux vibrations, ont été peu nombreuses. Une relation dose-effet, bien établie, serait en théorie applicable à toutes les occupations et à tous les travailleurs dont les mains sont exposées aux vibrations. Elle permettrait la prédiction de l'apparition ou de la progression d'un ou de plusieurs éléments du syndrome, et l'estimation des expositions qui pourraient être tolérées au cours d'une journée de travail.

Il serait irréaliste d'affirmer que ces objectifs peuvent être totalement atteints dans l'état actuel des connaissances et ce, pour plusieurs raisons:

1) Les diverses composantes du syndrome des vibrations du système main-bras peuvent apparaître indépendamment et progresser à des rythmes différents (Miyashita et coll. 1982; Pyykkö et coll. 1982). Par conséquent, plusieurs relations dose-effet peuvent être en cause.

2) Il est difficile de démontrer que certains symptômes par les utilisateurs d'outils électriques et les travailleurs engagés dans certains procédés industriels sont causés par les vibrations plutôt que par une mladie oute autre, par des travaux manuels lourds ou par des agents de stress (voir figure 1-2).

3) Une épreuve diagnostique efficace et objective n'a pas encore été mise au point pour l'évaluation d'une composante quelconque du syndrome des vibrations du système main-bras. Par conséquent, les relations dose-effet doivent être basée sur des rapports subjectifs relatifs aux signes et aux symptômes.

4) Les études épidémiologiques transversales et rétrospectives des populations exposées aux vibrations (ces études constituent la principe source de données pertinentes) ont un inconvénient intrinsèque : le taux de roulement des individus au sein du groupe influe sur le résultat.

5) Il existe toute une gamme de réactions humaines individuelles aux vibrations (Verrillo 1980; Welch 1980: Nishiyama et Watanabe 1981).

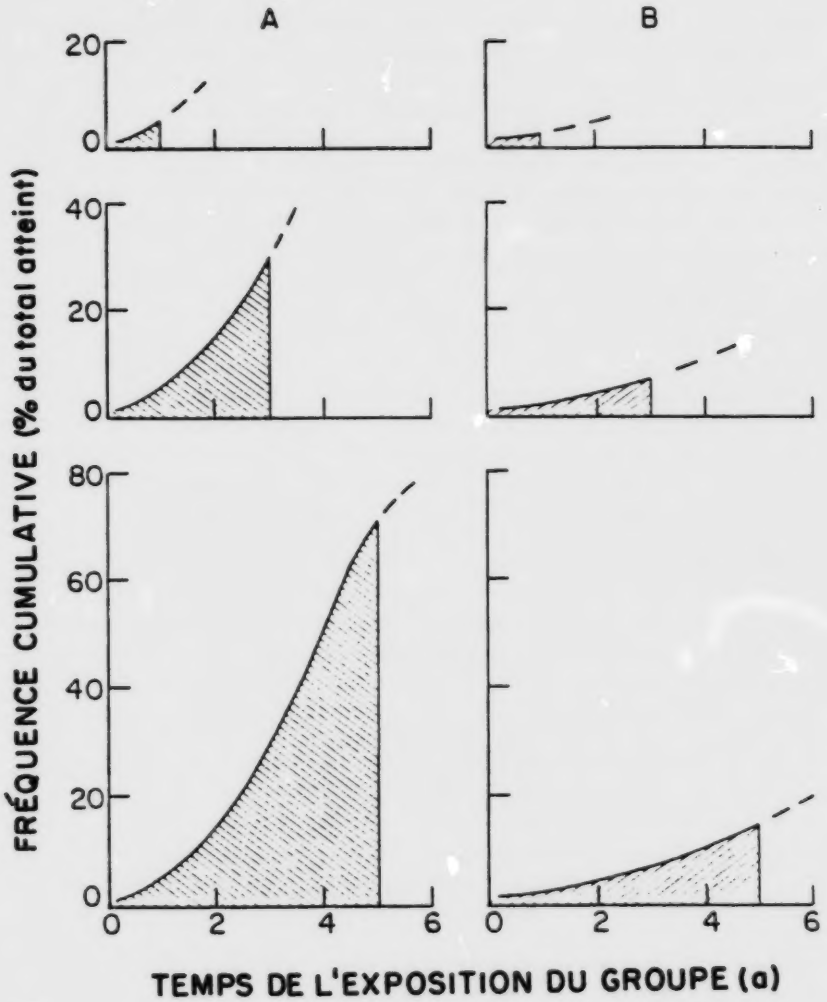


Figure 2-1. Progression d'un symptôme du syndrome des vibrations du système main-bras parmi les membres d'un group donné, exprimée en fonction du temps d'exposition des membres du groupe. La fréquence cumulative au sein du groupe est illustrée au bout de 1, 3 et 5 ans pour deux taux d'exposition, A et B (Brammer 1983a, avec la permission du Journal of Low Frequency Noise and Vibrations.

6) Les courbes des niveaux de vibration présentant des risques équivalents, c'est-à-dire, les combinaisons d'amplitude et de fréquence vibratoires qui ont des chances égales de produire une ou plusieurs des composantes du syndrome, ne sont pas très précises.

7) Nombre de facteurs physiques, biodynamiques et individuels influe sur la gravité de l'exposition aux vibrations (voir section 1.4).

Ces facteurs ont une influence profonde sur la découverte des relations entre les doses et les effets. Ainsi, bien qu'il soit souvent possible de définir un effet type ou "moyen" des vibrations sur une population donnée, il existe une variation importante des effets parmi les membres de cette population. Cette situation est illustrée par la figure 2-1 (Brammer 1983a), dans laquelle la fréquence cumulative d'un symptôme quelconque est exprimée en fonction du temps d'exposition du groupe pour deux taux d'exposition, dont l'un (A) est plus grave que l'autre. Dans cet exemple, le taux d'exposition est considéré comme une mesure unique de l'exposition d'un groupe, de sorte qu'il est nécessaire de calculer une gamme de temps d'exposition au cours desquels le symptôme en question apparaît avec une fréquence croissante chez les membres du groupe. Bien sûr, l'hypothèse d'un taux d'exposition décrit par une valeur unique est un artifice mathématique, qui a pour effet de transférer toute variation de l'effet sur l'autre variable de l'exposition, soit la durée.

La détermination de l'effet type des vibrations sur une population donnée (par exemple, une fréquence cumulative de 50% dans la figure 2-1) ne peut être tentée que lorsqu'une fort majorité des personnes finalement atteintes souffre de symptômes, peut-être au bout de 5 ans d'exposition dans le cas A. Dans tous les autres cas de la figure 2-1, il est impossible de déterminer l'effet type sur un groupe sans connaître la fonction de distribution. Par conséquent, la capacité d'établir des relations entre les doses et les effets à l'aide de données relatives à des groupes de personnes, dépend non seulement des mesures de l'exposition choisies, mais aussi de la prévalence du signe ou du symptôme en question. Cette prévalence, à son tour, dépend du taux de roulement des individus au sein du groupe. le contrôle de ces variables de nature épidémiologique, dans le but d'exclure les données relatives à des groupes non représentatifs, exige inévitablement la création de règles de sélection. Si elles ne sont pas passées au crible des règles de sélection, les données relatives au groupe exposé aux vibrations ont une dispersion considérable (Griffin 1982).

2.1 APPARITION DU BLANCHISSEMENT DES DOIGTS

Parmi les signes et les symptômes précoces du syndrome des vibrations du système main-bras, seule l'apparition des doigts blancs a été signalée fréquemment dans la littérature et semble faire l'objet de souvenirs d'une précision raisonnable chez les personnes atteintes. La période de latence du blanchissement du premier bout de doigt, t_{PLBD}, constitue donc une réaction physiologique à la vibration qui peut être exprimée sans forme de temps d'exposition. Pour les groupes d'individus dont les membres continuent à effectuer le même travail d'une année à l'autre, la probabilité de l'apparition des doigts blancs peut être établie approximativement en supposant une distribution normale, si elle est exprimée comme fonction du temps d'exposition (Brammer 1984). Cette fonction est, bien sûr, complètement définie par sa valeur moyenne et l'écart-type.

Des progrès considérables en ce qui concerne la corrélation de divers taux d'exposition, comme ceux qu'on suppose exister dans des occupations produisant des périodes de latence différentes, ont été réalisés en exprimant ces divers taux d'exposition uniquement sans forme d'une accélération pondérée en fréquence, a_K. Le réseau de pondération utilisé à cette fin est la réciproque de la courbe des niveaux de vibration présentant des risques équivalents montré dans la figure 2.2 (Brammer 1982a). On constate que sa forme constitue un compromis entre les courbes présentées, qui résument diverses réactions physiologiques, psychophysiques et subjectives aux vibrations, réactions qu'il est possible d'associer raisonnablement à l'apparition des doigts blancs dûs aux vibrations.

La forme de cette courbe aux fréquences inférieures à 16 Hz est assez floue. Des mesures portant sur des sensations tactiles d'intensité équivalent aux fréquence jusqu'à 4 Hz indiquent qu'une courbe de niveaux de risque équivalents est mieux représentée par des accélérations de valeurs égales (c.-à-d., par un trait horizontal dans la figure 2-2) que par la courbe des vitesses égales utilisée aux fréquences plus élevées (Miwa 1967; Fukuda et coll. 1982). Le réseau de pondération des fréquences obtenu grâce à cette courbe composite, qui est illustré à la figure 2-3, sert de base à la détermination de la valeur de a_K à partir de l'accélération large bande d'une source vibrante (ISO 1984). Les valeurs numériques de ce paramètre peuvent être calculées en ce qui concerne les composantes vibratoires, dans trois directions orthogonales. Pour ce faire, un système de coordonnées centré sur la tête du troisième métacarpien, l'axe primaire (axe Z) coïncidant avec l'axe longitudinal du troisième métacarpien, a été proposé par l'ISO (ISO 1984). Dans ce système de coordonnées biodynamique, l'axe des X est perpendiculaire à la paume, de sorte que l'axe des Y se trouve dans le plan de la main (voir figure 2-3). Un système de coordonnées basicentrique connexe, qui convient mieux au mesurage de la vibration sur nombre de poignées d'outils, est également

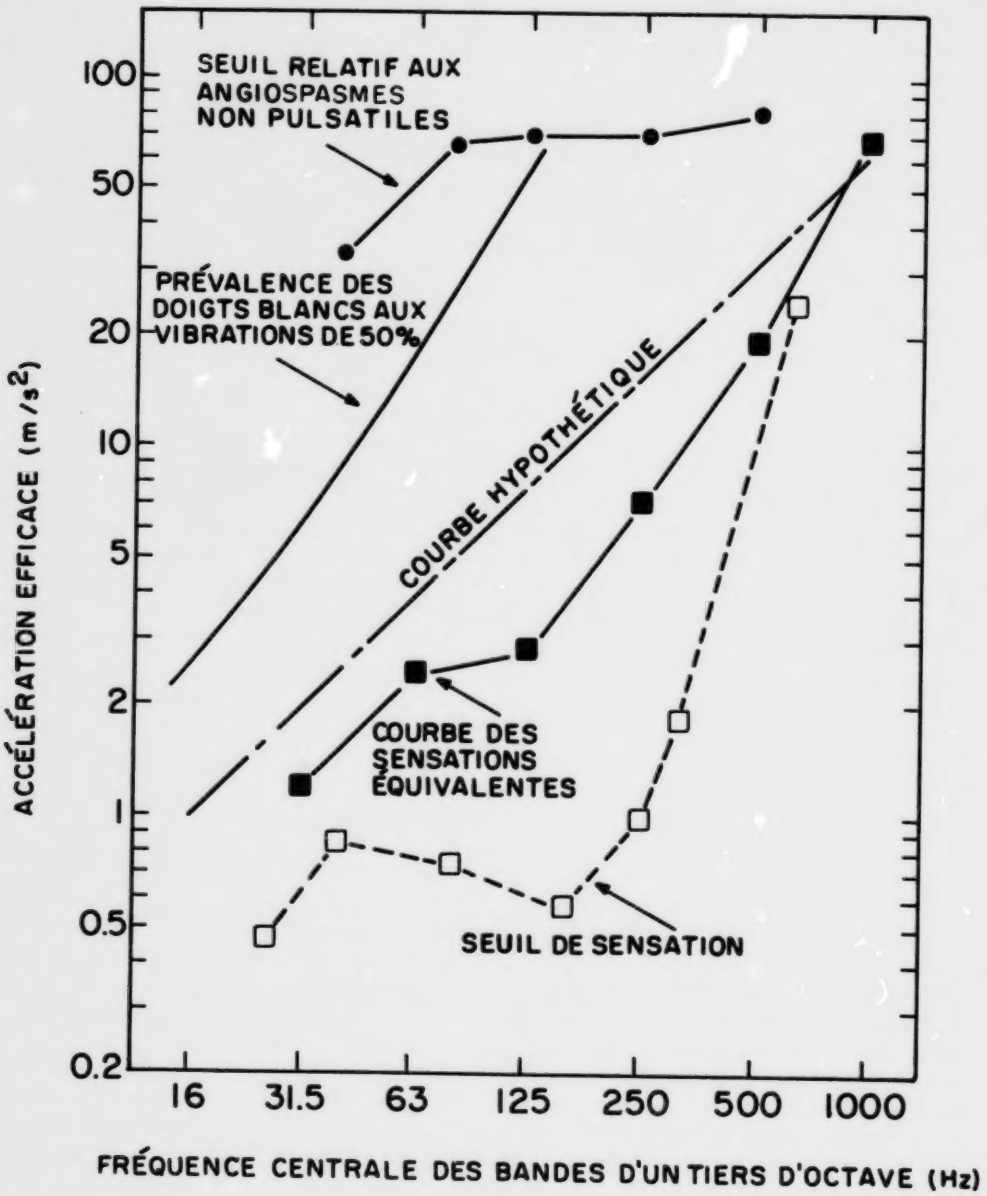


Figure 2-2. Réactions physiologiques, psychophysiques et subjectives aux vibrations, servant à déterminer les amplitudes vibratoires qui présentent des risques équivalents, pour diverses fréquences (Brammer 1982a, avec la permission de John Wiley and Sons).

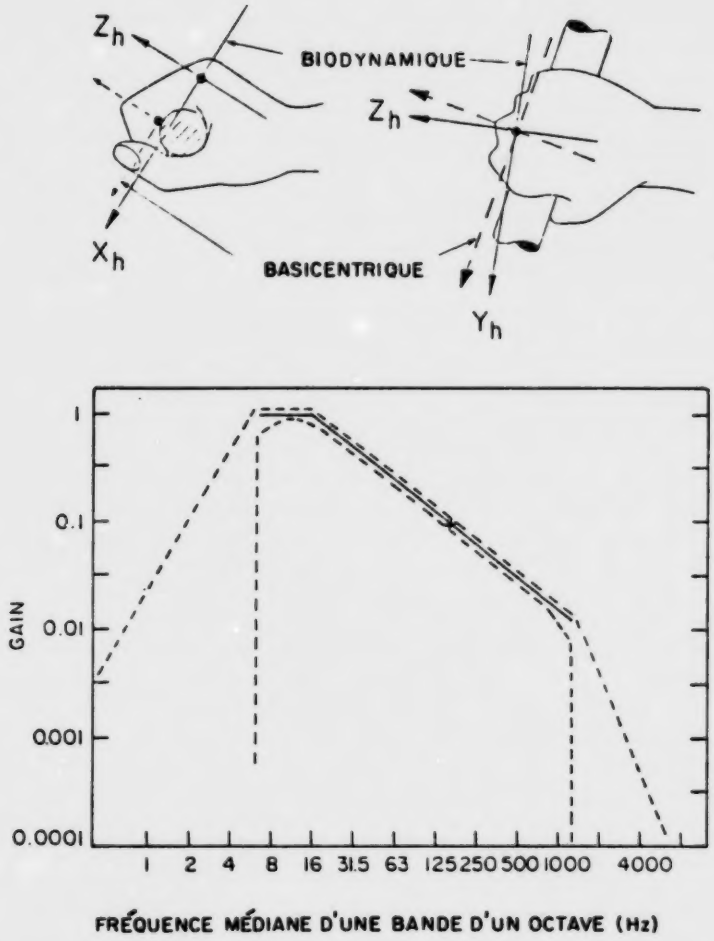


Figure 2-3. (a) Systèmes de coordonnées biodynamique et basicentrique relatifs à la main, indiquant les directions des composantes vibratoires X_h, Y_h et Z_h.

(b) Caractéristiques du gain du réseau de filtrage utilisé pour pondérer en fréquence l'acccélération (trait continu). La marge de tolérance du filtre (indiquée par les tirets) et le gain à l'extérieur de la gamme des fréquences allant de 5 à 1500 Hz, sont provisoires, et sont identiques à ceux qui sont prévus par l'ISO (1982).

indiqué dans le diagramme; dans ce dernier système, l'origine se trouve sur l'interface de la main et de la source, et les axes Y et Z sont tournés légèrement pour aligner le premier sur l'axe d'un cylindre tenu entre le pouce et les doigts.

L'expression des taux d'exposition en fonction de a_K n'a été tentée que pour les groupes dont les membres utilisent un seul type d'outil électrique ou travaillent dans un seul procédé industriel pendant toute la journée de travail. Dans ces conditions, une valeur type ou moyenne de a_K pour un groupe donné peut être calculée à l'aide des mesures des vibrations effectuées sur un sous-ensemble du groupe. Par conséquent, au niveau conceptuel, toutes les sources de variation d'un sujet à l'autre sont incorporées à la fonction de distribution qui concerne la période de latence, comme c'est le cas dans l'exemple fourni à la figure 2-1.

Les relations dose-effet qui sont ainsi établies, sont indiquées dans la figure 2-4 (Brammer 1983a). Elles fournissent la durée de la période d'emploi précédant l'apparition des épisodes de blanchissement des doigts, pour certains percentiles d'un groupe exposé à une accélération pondérée en fréquence d'une valeur efficace connue (en général, cette accélération est la composante X des vibrations dans le système de coordonnées précisé par l'ISO). De cette manière, les courbes décrivent la fréquence cumulative des doigts blancs au sein d'un groupe exposé à des vibrations, cette fréquence étant exprimée sous forme de pourcentage du nombre total de travailleurs finalement atteints. Elles sont fondées sur deux équations empiriques (Brammer 1982a). La première établit un rapport entre une valeur représentative de a_K mesurée sur une surface de contact avec la main, et la période de latence moyenne pour le blanchissement des doigts à l'intérieur d'un groupe de personnes, $\bar{t}_{PLBD}$:

$$\bar{t}_{PLBD} = 78,7/a_K^{1,07} \qquad (1)$$

La seconde représente le lien entre la gamme des temps d'exposition précédant l'apparition d'épisodes de blanchissement des doigts chez certains membres d'une population, et la période de latence moyenne au sein de cette population. Puisque la probabilité pour les membres d'une population donnée de contracter les doigts blancs dûs aux vibrations, semble respecter une distribution normale lorsqu'elle est exprimée comme fonction du temps d'exposition, cette gamme de temps d'exposition trouve une expression commode dans l'écart-type, σ, avec:

$$\sigma = 0,01 + 0,46\ \bar{t}_{PLBD} \qquad (2)$$

Ces relations ont été obtenues par l'application des règles de sélection énoncées au tableau 2-1 à chacune des études épidémiologiques portant sur des personnes exposées aux vibrations, contenue dans la littérature pertinente; la quasi-totalité de ces études ont un caractère transversal et rétrospectif. Ces règles visent à exclure les

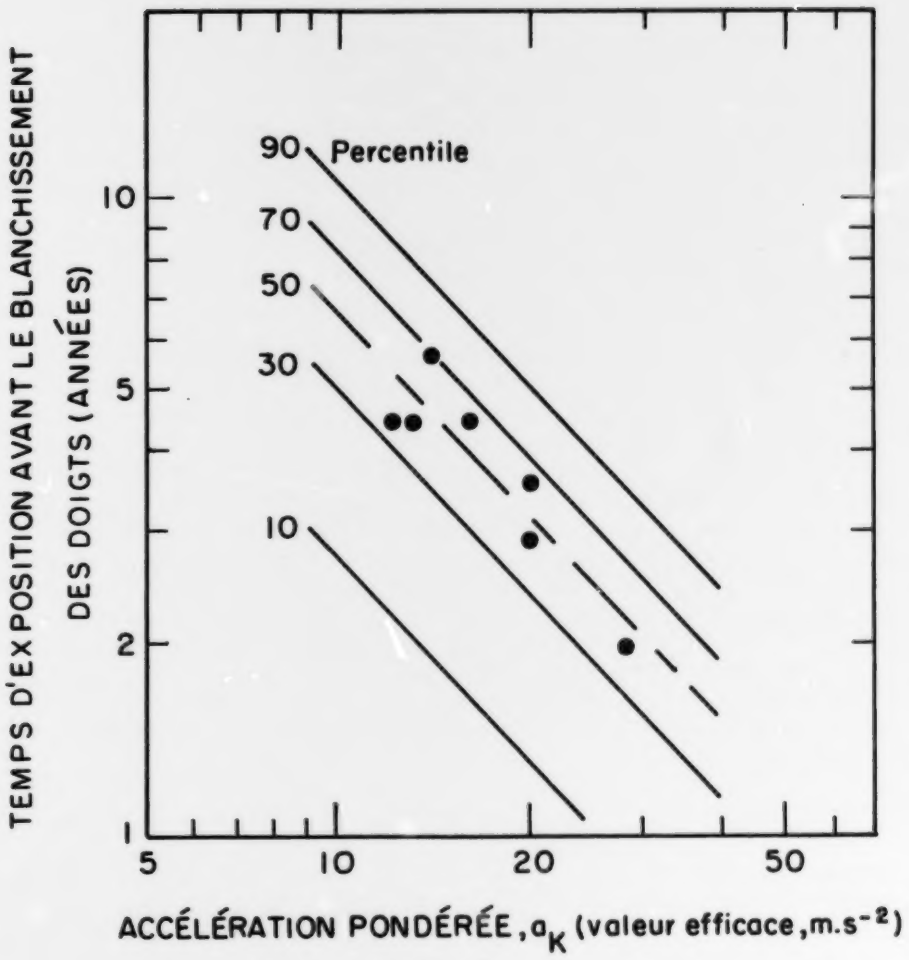


Figure 2-4. Temps d'exposition avant l'apparition d'épisodes de blanchissement des doigts parmi les membres d'un groupe de personnes exposé à une accélération pondérée en fréquence d'une valeur efficace connue; le temps est exprimé sous forme de pourcentage du nombre total des personnes finalement atteintes (Brammer 1983a, avec la permission du Journal of Low Frequency Noise and Vibration).

populations dans lesquelles l'exposition subie par les membres n'est peut-être pas caractéristique d'une population nombreuse, en établissant un nombre minimal pour les populations (première règle). Les erreurs introduites par des conditions d'exposition qui entraînent une faible prévalence des doigts blancs dûs aux vibrations au sein d'un groupe donné (par exemple, le cas B de la figure 2-1), sont limitées par les règles 1 et 2. L'exclusion des populations sujettes à un roulement important de leurs membres, ne fait pas l'objet d'une mesure explicite (puisqu'aucune information de ce genre n'est contenue dans les études initiales), mais elle est la cause de la création de la troisième règle et de l'augmentation de la prévalence en fonction des périodes de latence plus longues prévue par la règle 2.

Les règles 1 à 3 ont été appliquées aux études dans lesquelles la période de latence moyenne et son écart-type ont été signalés pour un groupe de travailleurs exposés à des vibrations, et les règles 1 à 4, à celles qui contenaient une période de latence moyenne ainsi qu'une mesure des vibrations produits par l'outil ou le procédé utilisé. Dans cce dernier cas, les données relatives à sept groupes seulement sont conformes aux règles de sélection. Ces données sont indiquées dans la figure 2-4 par les cercles noirs, qui produisent la courbe tiretée relative au 50^{e} percentile.

2.2 RELATIONS DOSE-EFFET POUR D'AUTRES SIGNES ET SYMPTÔMES

En l'absence d'une quantité de données épidémiologiques suffisante pour établir indépendamment des relations dose-effet pour tout autre signe ou symptôme du syndrome des vibrations du système main-bras, il est possible d'élargir les relations établies à la section 2.1 de manière à tenir compte de certains effets supplémentaires de l'exposition aux vibrations. Cela peut être fait, en principe, en établissant un lien entre le rythme de progression des autres symptômes et l'apparition des doigts blancs, au sein d'un groupe dont les membres subissent la même exposition aux vibrations pendant plusieurs années.

Sous réserve de la création de règles de sélection appropriées, certains auteurs ont avancé que le rapport $t_3/\bar{t}_{PLBD}$ est indépendant de la nature de l'outil électrique ou du procédé industriel, t_3 étant le temps d'exposition "moyen" signalé par les personnes qui font partie du groupe qui a atteint la phase 3 des doigts blancs dûs aux vibrations (voir le tableau 1-2). La valeur de ce rapport est estimée à $3,2 \pm 0,2$ pour un minimum de 15% des personnes d'un groupe qui ont atteint la phase 3 (Brammer 1982a). La relation dose-effet implicite pour cette partie au moins d'un groupe est par conséquent analogue à celle qui concerne l'apparition des doigts blancs, mais elle est décalée dans le temps d'un facteur de 3,2, comme l'indique la figure 2-5 (Brammer 1983a).

Tableau 2-1. Règles concernant la sélection de données épidémiologiques (Brammer 1983a, avec la permission du Journal of Low Frequency Noise Vibration).

Pour chaque groupe (au sein d'une population):

1. Le groupe doit contenir au moins trente personnes dont le travail comporte l'utilisation à temps plein d'un type précis d'outil électrique vibrant ou la participation à temps plein à une activité industrielle produisant des vibrations, pendant toute la journée de travail; vingt de ces personnes au moins doivent avoir des épisodes de blanchissement des doigts.

2. La prévalence minimale du blanchissement des doigts au sein du groupe doit être de 50% si la période de latence est inférieure à six ans, et de 75% si elle est supérieure à six ans.

3. En moyenne, la durée de l'exposition aux vibrations pour les membres du groupe, doit dépasser la période de latence signalée par les personnes atteintes.

4. Une méthode expérimentale reconnue doit être utilisée pour mesurer les vibrations transmises aux mains des membres du groupe (voir, par exemple, ISO (1979)).

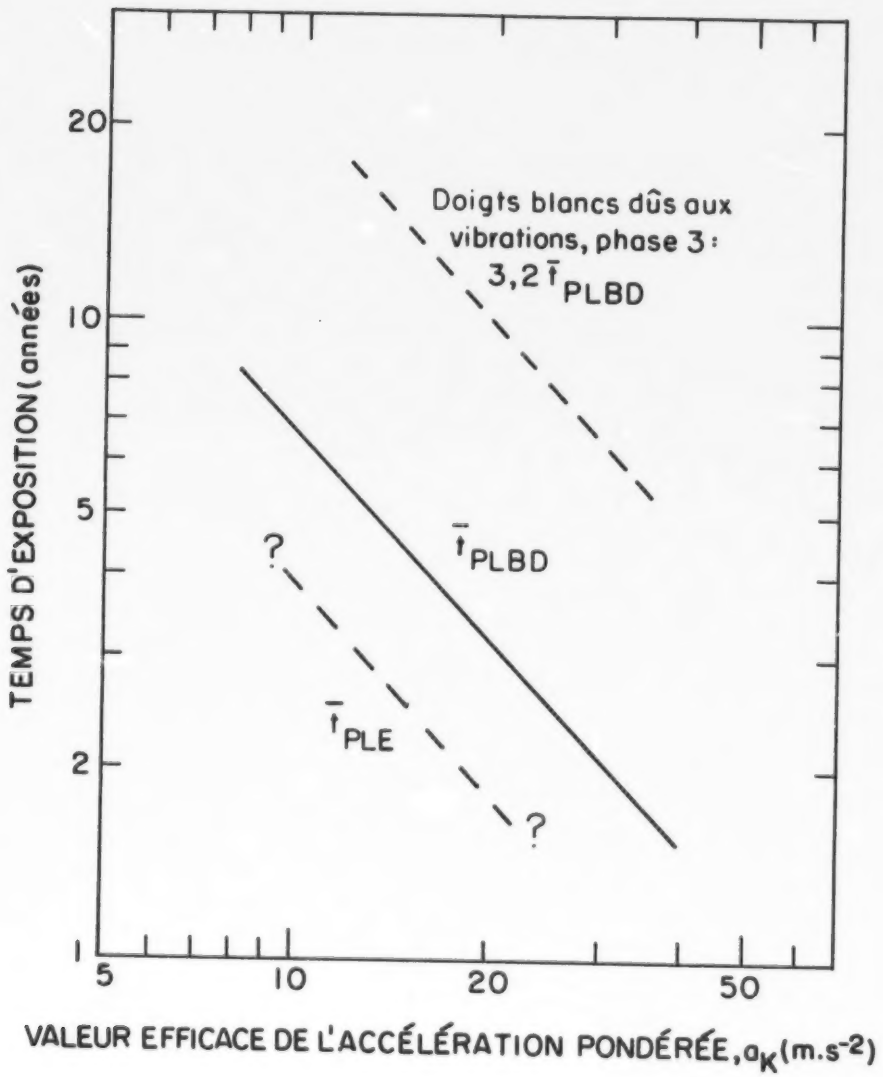


Figure 2-5. Application des relations dose-effet concernant l'apparition des doigts blancs, à d'autres symptômes du syndrome des vibrations du système main-bras. La période de latence moyenne pour le blanchissement des doigts sert de base à une relation dose-effet probable pour la phase 3 des doigts blancs dûs aux vibrations et à une relation possible en ce qui concerne la période de latence de l'engourdissement des doigts, $\bar{t}_{PLE}$ (Brammer 1983a, avec la permission du Journal of Low Frequency Noise Vibration).

Le calcul d'autres rapports qui soient indépendants de la vibration produite par l'outil ou l'activité, en ce qui concerne d'autres symptômes du syndrome des vibrations du système main-bras, semble souhaitable, mais aucune analyse de ce genre n'a été tentée. Cependant, une étude récente portant sur des populations importantes de travailleurs de chantiers navals et de fonderies contenait, pour la première fois, des estimations prudentes des périodes de latence relatives au picotement, à l'engourdissement et au blanchissement (Behrens et coll. 1982). Ces données indiquent que le rapport entre la période de latence médiane de l'engourdissement et celle du blanchissement des doigts, $\bar{t}_{PLE}/\bar{t}_{PLBD}$, peut être indépendant du taux d'exposition. La valeur de ce rapport pour les deux populations est proche de 0,06, bien qu'il y ait lieu de souligner que les deux utilisaient les mêmes types d'outils pneumatiques pour le broyage et le moulage (cependant, les symptômes se sont développés à des rythmes différents, la différence étant de l'ordre de 10 pour 1). Cette relation dose-effet possible est présentée à la figure 2-5, bien qu'elle doive être considérée comme très incertaine.

2.3 LIMITES ET PRÉCISION

La caractéristique la plus limitative, peut-être, de ces relations dose-effet, est le petit nombre des études qui ont servi de base à la détermination du rapport capital entre la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence et la période de latence moyenne de l'apparition du premier bout de doigt blanc (la courbe tiretée de la figure 2-4). Parmi les treize études épidémiologiques publiées qui contiennent des mesures des vibrations dont il est tenu compte dans l'analyse, la moitié environ ne respectent pas clairement l'une ou l'autre des règles de sélection. Heureusement, les données relatives à plusieurs occupations courantes qui transmettent des vibrations aux mains, répondent aux exigences. Ces données concernent l'utilisation de tronçonneuses (3 études), de marteaux perforateurs (2 études), de meuleuses à main (1 étude) et de meuleuses à piédestal (1 étude). Dans chacune de ces études, la nature du travail était telle que des vibrations étaient transmises à la main de manière intermittente pendant la totalité de la journée de travail. Cependant, à d'autres égards, les conditions de travail étaient très différentes: travail à l'intérieur et à l'extérieur, utilisation d'outils rotatifs à moteurs électriques ou à combustion interne et d'outil pneumatiques à percussion, usinage de pièces tenues à la main.

La gamme des paramètres d'exposition utilisée pour le calcul du rapport entre $\bar{t}_{PLBD}$ et a_K, se limite à des valeurs de 2 à 5,7 années pour la première et de 12 à 28 $m.s^{-2}$ pour la seconde. L'exclusion des études contenant des périodes de latence plus courtes et des accélérations plus importantes est motivée par une préoccupation qui peut surprendre la précision des mesures des vibrations, surtout de celles qui sont produites par les outils pneumatiques à percussion

(Taylor et Brammer 1982). Par contre, la principale raison de l'exclusion des études contenant des périodes de latence longues, est l'exigence relative à la prévalence contenue dans la règle 2. Dans son libellé actuel, cette règle ne fait pas de distinction entre les groupes qui ont une faible prévalence des doigts blancs par suite d'une exposition à des vibrations de faible intensité, et ceux qui ont une prévalence exceptionnellement basse par suite du départ des personnes atteintes du syndrome des vibrations du système main-bras.

Pour ces raisons, et parce que la courbe des niveaux de vibration présentant des risques équivalents demeure imprécise, surtout aux basses fréquences, il est difficile d'estimer directement l'exactitude des relations dose-effet. À première vue, l'étalement des données utilisées pour l'établissement de l'équation 1 (les cercles noirs de la figure 2-4) est telle qu'une variation considérable de son gradient, ou encore une forme différente de sa fonction, semblent possibles. Ces deux sources d'erreurs possibles sont amplifiées en extrapolant les relations dose-effet au-delà de la gamme des valeurs pour lesquelles des données sont disponibles. Par conséquent, leur précision peut être inférée en comparant entre elles les méthodes indépendantes d'estimation du seuil de vibration (c'est-à-dire, de la valeur de a_K au-dessous de laquelle les symptômes du syndrome des vibrations du système main-bras n'apparaissent pas, même après une exposition prolongée, quasi quotidienne). Ce sujet est abordé à la partie III, qui révèle (voir tableau 3-2) que la probabilité d'une erreur importante dans les relations dose-effet de la figure 2-4 est assez faible.

Bien que la base de données soit limitée et que l'exactitude des relations dose-effet soit difficile à évaluer, il n'y a pas de raison de ne pas appliquer provisoirement ces relations à d'autres groupes de travailleurs qui subissent des expositions analogues, par exemple aux personnes qui utilisent à temps plein un type précis d'outil électrique vibrant ou qui effectuent une même activité industrielle pendant toute la journée de travail. Signalons que ces relations ne peuvent raisonnablement s'appliquer à des groupes dont la composition change rapidement.

3.0 EXPOSITION AUX VIBRATIONS TOLÉRABLE POUR LA TOTALITÉ D'UNE JOURNÉE DE TRAVAIL

Dans la présente partie, une exposition aux vibrations tolérable est établie pour les personnes dont les mains sont exposées pour la totalité de chaque jour de travail. Cette exposition sera considérée comme le seuil de l'apparition de symptômes qui peuvent être reconnus à l'aide d'études épidémiologiques portant sur des travailleurs qui, dans le cadre de leurs fonctions, utilisent à temps plein un outil ou une machine électriques vibrants. Ce seuil peut être quantifié à l'aide de deux types de données épidémiologiques:

a) des études prospectives de groupes de travailleurs choisis,

b) des études transversales et rétrospectives de groupes de travailleurs qui continuent à exécuter essentiellement les mêmes tâches avec des outils ou des machines théoriquement identiques.

Dans chaque cas, le développement des perturbations initiales doit avoir été associé de quelques manière à une mesure quantitative de l'exposition aux vibrations.

Une seule étude prospective répond à cette exigence, tandis que les résultats de certaines études rétrospectives sont incohérents à moins d'être soumis à un processus de sélection comme celui qui est décrit à la partie II. Cependant, il y a eu trois tentatives indépendantes d'organiser les données provenant des études rétrospectives de manière à établir un seuil de vibration. Les quatre méthodes proposées seront examinées tour à tour plus loin.

3.1 EXTRAPOLATION DES RELATIONS DOSE-EFFET

L'idée d'un seuil de vibration suppose l'intention d'éviter l'apparition du syndrome des vibrations du système main-bras au cours de la vie active, en tenant compte du fait que les effets de l'exposition aux vibrations sont cumulatifs. En ce qui concerne les relations dose-effet, cela revient à calculer la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence qui correspond à une période de latence supérieure à, disons, 25 ans. Cependant, les relations établies par Brammer (1982a) sont basées sur des études épidémiologiques dans lesquelles la période de latence moyenne allait de 2 à 5,7 années (équation 1) et de 1,6 à 21,5 ans (équation 2). L'extrapolation de la première en fonction de périodes de latence de l'ordre de 25 ans exige un niveau élevé de confiance en l'exactitude de l'équation et la forme de la fonction.

La découverte des rapports fonctionnels entre l'exposition des mains aux vibrations et l'apparition des doigts blancs, dépendait de l'application des règles énoncées au tableau 2-1, ces règles ayant été

fixées de manière à assurer que les données choisies soient représentatives des effets des vibrations sur l'être humain. Par exemple, l'exigence selon laquelle la prévalence des doigts blancs au sein d'un groupe de personnes doit être de 75%, malgré sa pertinence à l'établissement de relations dose-effet significatives à partir de données épidémiologiques transversales, doit être adoucie pour étudier les conséquences d'une exposition prolongée à des vibrations de faible intensité. Cette seule modification des règles de sélection permet d'utiliser, aux fins de l'analyse, les données relatives à des groupes dans lesquels des troubles ne sont apparus qu'après de nombreuses années d'exposition, à condition de connaître le niveau des vibrations produites par l'outil ou la machine. La faible prévalence initiale des doigts blancs dûs aux vibrations au sein d'un groupe exposé aux vibrations est évidente dans la figure 3-1, où les périodes de latence du blanchissement des doigts signalées par plus d'une personne (les carrés noirs) sont indiquées en fonction du temps d'exposition (Brammer 1982b).

Si l'on suppose en outre qu'avec une exposition prolongée à des vibrations d'une intensité suffisante, la prévalence des doigts blancs dûs aux vibrations au sein d'un groupe de travailleurs atteint finalement 100%[α], il est possible de prévoir la période de latence "moyenne" signalée par un groupe au sein duquel la prévalence des doigts blancs est faible (Brammer 1982b). De cette manière, les données épidémiologiques relatives à des groupes au sein desquels les périodes de latence sont longues et les prévalences de symptômes sont faibles, peuvent être comparées aux relations dose-effet obtenues par extrapolation.

Malheureusement, il n'existe pas de données relatives à des groupes qui respectent les règles de sélection adoucies et auxquelles les relations dose-effet extrapolées peuvent être comparées. Dans ces conditions, il n'y a pas d'autre alternative que d'utiliser les données épidémiologiques contenues dans les études traversales, même si l'état et le nombre des personnes qui se joignent à un groupe ou qui le quittent au cours de la période d'exposition, peuvent avoir une influence certaine sur la prévalence des troubles observée. Par conséquent, l'accord entre les valeurs signalées et les valeurs anticipées dans les études transversales peut inspirer la confiance en ce qui concerne les relations dose-effet extrapolées, tandis que le désaccord entre ces données révèle seulement qu'il y a eu roulement important des membres d'une groupe au cours de l'exposition, ou que l'extrapolation est fausse, ou les deux.

[α] Des prévalences des doigts blancs dûs aux vibrations supérieures à 95% ont été signalées dans des études transversales rétrospectives (voir, à titre d'exemple, Taylor et Pelmear (1975)).

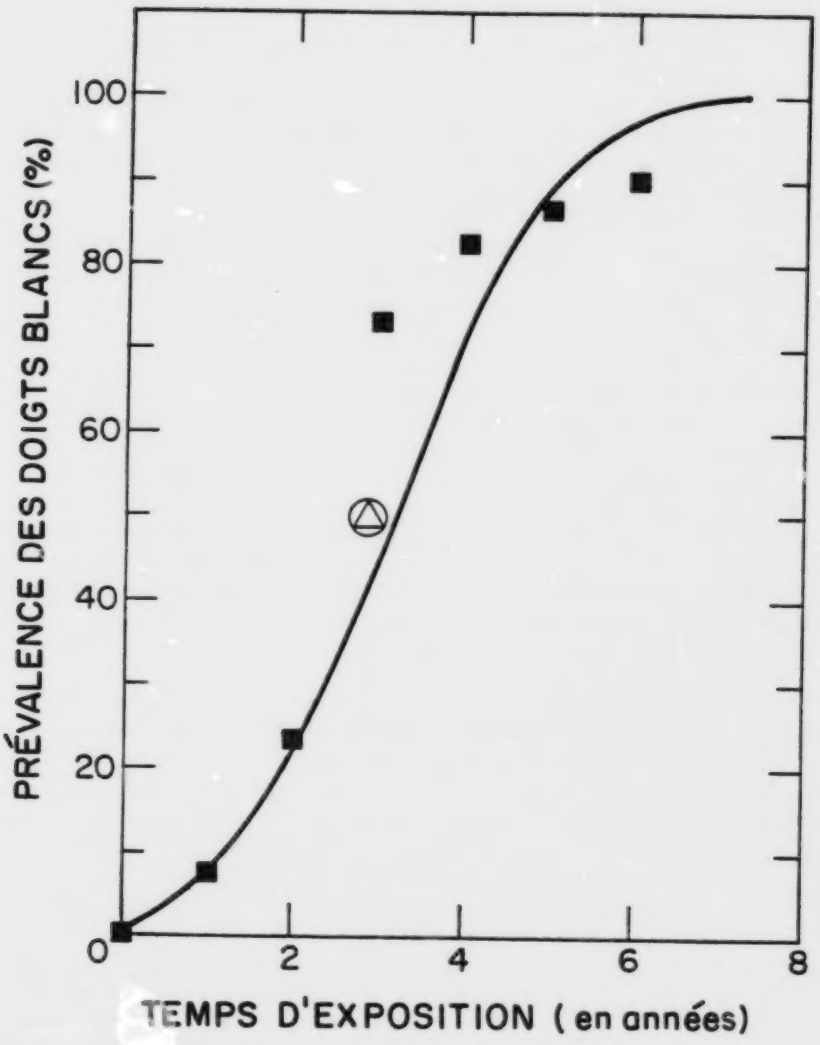


Figure 3-1. Périodes de latence du blanchissement des doigts signalées par plus d'un membre d'un groupe, exprimées en fonction du temps d'exposition (carrés noirs). La période de latence moyenne au sein du groupe est indiquée par le triangle encerclé. La courbe représente l'apparition des doigts blancs prédite en tenant compte des vibrations de l'outil (Brammer 1982b, avec la permission de John Wiley and Sons).

La figure 3-1 fournit un exemple du calcul de la prévalence pour une étude transversale qui respecte les règles de sélection (tableau 2-1) et qui, par conséquent, est jugée indicative du développement des doigts blancs dûs aux vibrations. La courbe continue représente la prévalence des doigts blancs en fonction du temps d'exposition calculée à partir de l'accélération mesurée sur les poignées des outils. On constate que les périodes des latence signalées par les membres du groupe (les carrés noirs) et la valeur moyenne obtenue à l'aide de ces données (le triangle encerclé) correspondent raisonnablement aux prédictions.

Une seule des études transversales rejetées par les règles de sélection (rejetée seulement à cause de la faible prévalence des doigts blancs) ne contient pas de renseignements sur l'apparition de désordres au sein d'un groupe pour lequel la période de latence est longue. La figure 3-2 (Brammer 1982b) établit une comparaison entre les périodes de latence calculées pour ce groupe et celles que ses membres ont signalées. Il est évident que la valeur prévue (indiquée par la ligne tiretée) est en bon accord avec les données épidémiologiques indiquant une prévalence faible (le cercle blanc). Pour arriver à cette prédiction, le lien entre $\bar{t}_{PLBD}$ et a_K a dû être étendu à une acccélération de 3 $m.s^{-2}$ et à une période de latence supérieure à 24 ans. L'extrapolation des relations dose-effet pour des périodes de latence de cette longueur et des fractions de population autres que 50%, sans modifier la forme de la fonction qui les décrit, semble donc justifiée sur la foi des données épidémiologiques disponibles.

La durée de l'exposition avant l'apparition d'épisodes de doigts blancs dans certains percentiles d'un groupe donné, peut ainsi être calculée avec une certaine confiance, à l'aide des niveaux de vibration produits par l'outil, la machine ou la pièce usinée. Les résultats sont présentés dans le tableau 3-1 pour des accélérations pondérées en fréquence de 1 à 25 $m.s^{-2}$ (valeurs efficaces) et pour des proportions de population allant de 10 à 50% (Brammer 1982b). Parce que les percentiles extrêmes d'une distribution sont très sensibles à la forme exacte de la courbe de distribution, il n'a été fait aucune tentative d'estimer des périodes de latence pour des proportions inférieures à 10%. Les prédictions relatives au nombre de personnes ayant une réaction moyenne aux vibrations, correspondant au 50^e percentile, et aux 10% des membres d'un groupe les plus sensibles aux vibrations, sont indiquées à la figure 3-3. Les valeurs présentées dans le tableau 3-1 et la figure 3-3 sont identiques à celles qui ont été adoptées par l'ISO dans son nouveau projet de norme internationale relative à la vibration du système main-bras (ISO 1984).

Il est évident, sur la foi de ces résultats, que lorsque l'accélération est peu importante, de légers changements de a_K correspondent à des changements importants du temps d'exposition précédant l'apparition des doigts blancs, pour tous les percentiles de la population. Par conséquent, il est presque inutile de détermine

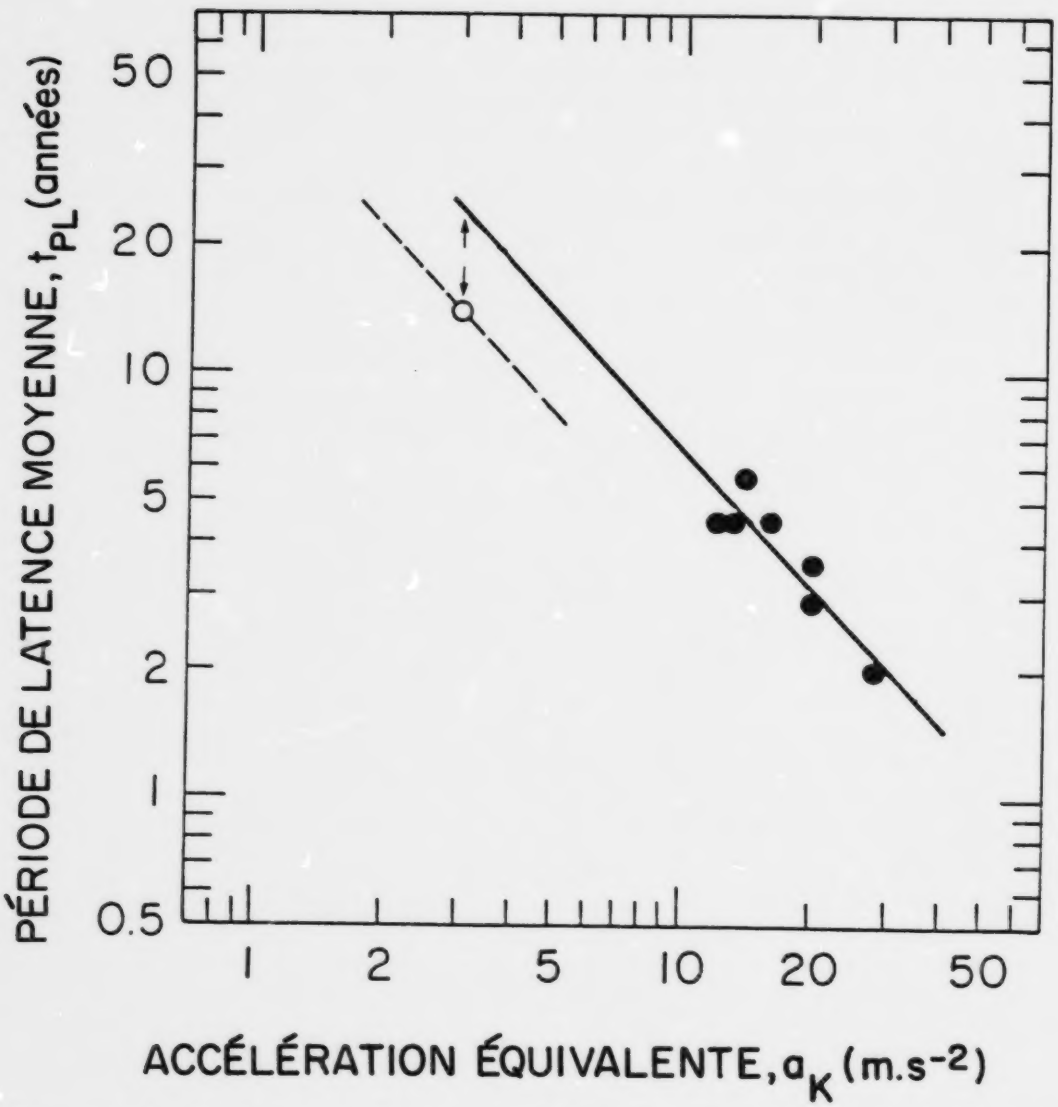


Figure 3-2. Extrapolation des relations dose-effet (au degré indiqué par les flèches) dans le but de prédire la période de latence médiane pour un groupe au sein duquel la prévalence est de 37% (trait tireté), comparée aux données concernant un groupe d'utilisteurs de meuleuses à main ayant la même prévalence (cercle blanc). Les conditions d'exposition constatées étaient: a_K = 3 $m.s^{-2}$; t_{PLBD} "moyenne" = 13,7 années; prévalence des doigts blancs = 37%. Les données représentées par les cercles noirs ont servi à obtenir l'équation 1 (trait continu) (Brammer 1982b, avec la permission de John Wiley and Sons).

Tableau 3-1. Prédiction relative au temps d'exposition nécessaire avant le premier épisode de doigts blancs, pour certains percentiles d'un groupe exposé pendant toute la journée de travail à une accélération pondérée en fréquence d'une valeur efficace donnée (Brammer 1982b, avec la permission de John Wiley and Sons).

Valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence	Temps d'exposition[α] (a) Percentile de la population				
a_K ($m.s^{-2}$)	10	20	30	40	50
25	-	-	-	2,2	2,5
20	-	2	2,4	2,8	3,2
15	-	2,7	3,3	3,8	4,3
12	2,3	3,4	4,2	4,9	5,5
10	2,7	4,1	5,1	5,9	6,7
8	3,5	5,2	6,5	7,5	8,5
6	4,7	7,1	8,8	10	12
5	5,8	8,6	11	12	14
4	7,3	11	14	16	18
3	10	15	18	21	24
2	15	23	28	33	-
1	32	-	-	-	-

[α] Les temps inférieurs à 2 ans ou supérieurs à 35 ans sont indiqués par -.

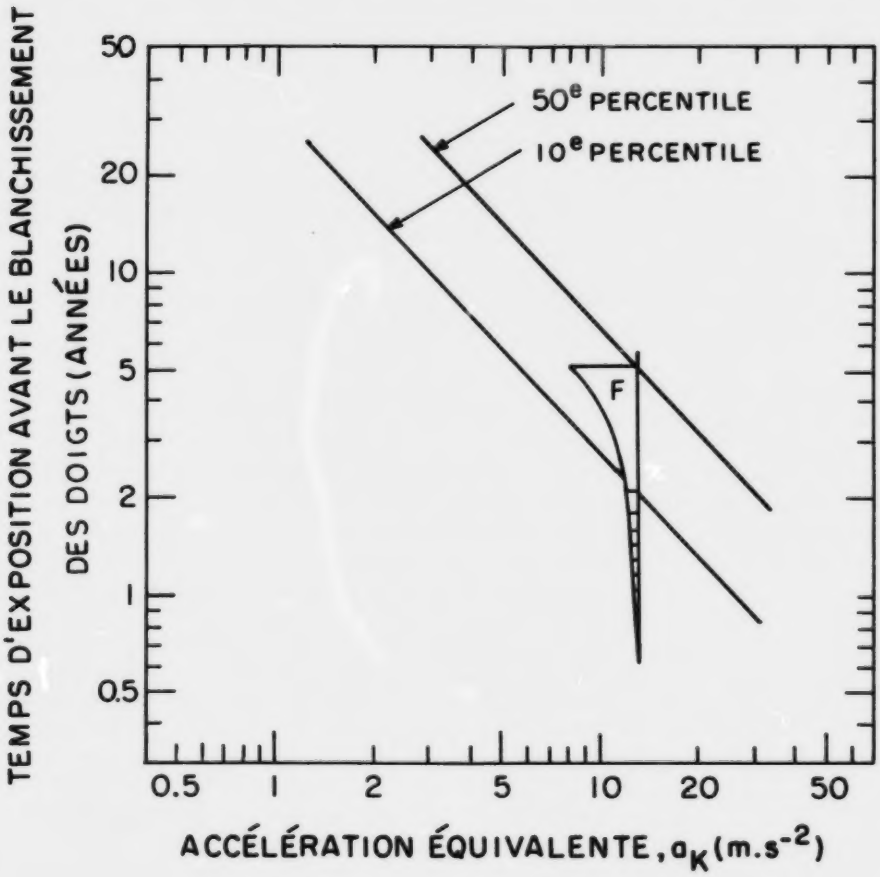


Figure 3-3. Prédiction du temps d'exposition précédant le premier épisode de doigts blancs pour certains percentiles d'un groupe exposé à une accélération (valeur efficace) pondérée en fréquence, a_K, pour la totalité de la journée de travail. La fonction de distribution cumulative (F) est également présentée (d'après Brammer 1982b, avec la permission de John Wiley and Sons).

avec précision la durée d'une vie utile. L'examen du tableau 3-1 et de la figure 3-3 révèle donc que le seuil de vibration se trouve dans la gamme $1 \leq a_K \leq 2,9$ m.s^{-2}. L'extrémité supérieure de cette gamme correspond à l'accélération qui est censée retarder l'apparition des doigts blancs, en moyenne, pour 25 ans, tandis que l'extrémité inférieure correspond à l'accélération qui est censée retarder l'apparition des doigts blanc pour plus de 30 ans chez les 10% de la population qui sont les plus susceptibles de souffrir des doigts blancs dûs aux vibrations.

3.2 PRÉDICTIONS ÉTABLIES À L'AIDE DE COMPARAISONS DES DONNÉES CONTENUES DANS DES ÉTUDES TRANSVERSALES ET RÉTROSPECTIVES SUR LES ACTIVITÉS PROFESSIONNELLES

3.2.1 ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET MESURAGE DES VIBRATIONS RÉALISÉS PAR MIURA ET SES COLLABORATEURS

Une étude comparative détaillée portant sur l'apparition du syndrome des vibrations du système main-bras au sein de certains groupes de travailleurs, a été effectuée au Japon (Miura et coll. 1950). La prévalence des signes et des symptômes signalés par des travailleuurs de divers secteurs, a d'abord été obtenue au moyen d'une étude transversale rétrospective. Les données épidémiologiques ont ensuite été comparées aux mesures de la fréquence de vibration dominante et au déplacement correspondant de chaque source des vibrations transmises par les mains. Les résultats sont résumés dans la figure 3-4, qui divise les sources en trois catégories: les outils pneumatiques à piston (les cercles noirs), les outils rotatifs portatifs (cercles blancs) et les machines-outils rotatives fixes, où l'opérateur tient la pièce à usiner (triangles). La légende de la figure permet de constater la diversité des outils électriques, machines-outils et occupations étudiés.

Grâce à ces données et à la connaissance des troubles liés à une utilisation prolongée de chaque outil ou machine-outil, il est possible de tracer une courbe mettant en relation les amplitudes et les fréquences de vibration qui sont censées produire la même prévalence des symptômes. Selon Miura et ses collaborateurs (1950), la courbe de la figure 3-4 correspond au seuil de vibration au-dessous duquel aucun travailleur ne s'est plaint d'engourdissement, de pâleur ou de refroidissement des doigts. Cette courbe équivaut à des valeurs efficaces situées, selon la fréquence, entre 1 et 2,1 m.s^{-2} pour l'accélération pondérée en fréquence.

3.2.2 ANALYSE DE LA LITTÉRATURE PERTINENTE PAR GRIFFIN

Un examen complet des études épidémiologiques dans lesquelles la prévalence et la période de latence des signes ou des symptômes les plus précoces du syndrome des vibrations du système main-bras (en

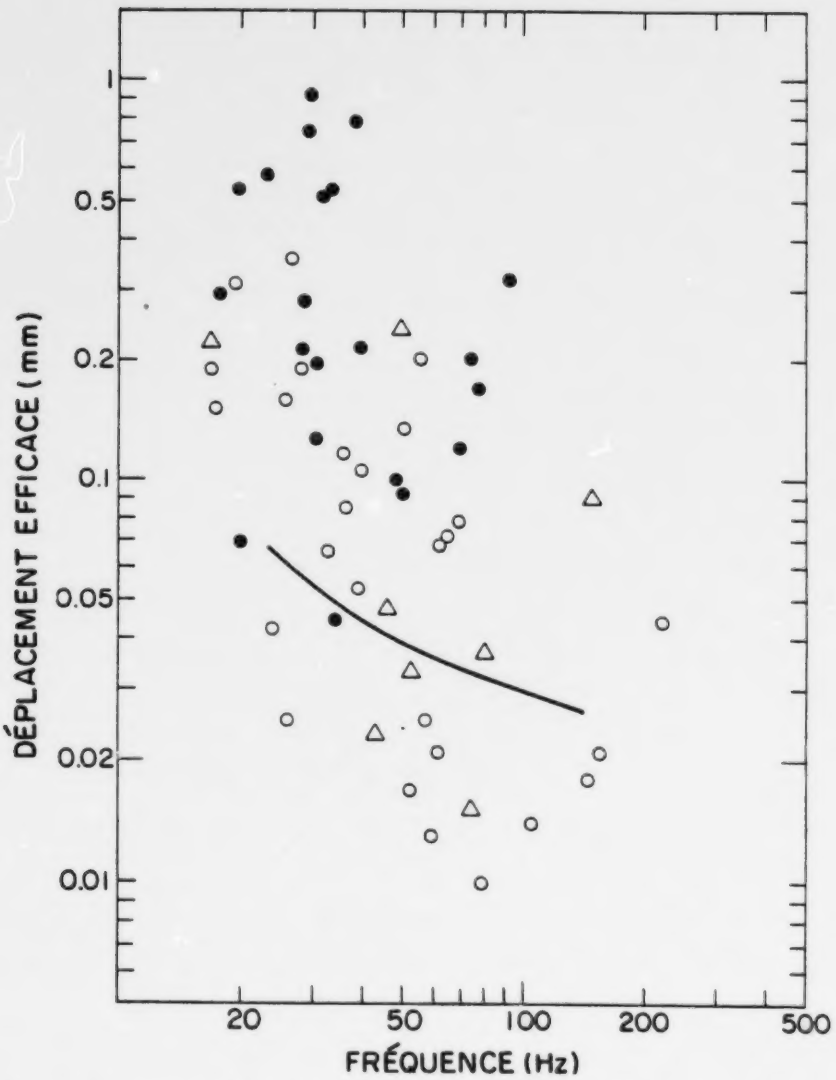


Figure 3-4. Déplacements efficaces maximaux (en mm), dans des bandes étroites, de divers outils électriques tenus à la main et de diverses machines-outils, en fonction des fréquences de vibration fondamentales. Les cercles noirs concernent des marteaux perforateurs, des marteaux pneumatiques, des riveteuses, des marteaux piqueurs, un brise-béton et un pilon à sable; les cercles blancs concernent des meules à main, des surfaceuses, des ponçeuses à main, des perceuses, une tronçonneuse et une clé à chocs; les triangles concernent des polisseuses et des rectifieuses de pièces métalliques (Brammer 1982b, avec la permission de John Wiley and Sons).

général, le picotement ou l'engourdissement) et le niveau de vibration produit par la source ont été déterminés, a été entrepris récemment par Griffin (1982). En étudiant les résultats sous plusieurs angles, il lui a été possible de faire ressortir certaines tendances.

La figure 3-5 présente les données concernant la prévalence extraites des études transversales qui permettent de calculer la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence, sur une surface en contact avec la main. Il est évident qu'il existe une tendance vers l'augmentation de la prévalence de picotements ou d'engourdissements en fonction de l'augmentation des vibrations transmises par les mains, bien que les données soient assez largement étalées. Cependant, Griffin (1982) n'a trouvé aucun cas d'apparition de symptômes après exposition à des accélérations pondérées en fréquence inférieures à 1 $m.s^{-2}$. Il est donc possible de supposer que cette dernière valeur est voisine du seuil de vibration en ce qui concerne l'apparition de tout signe ou symptôme du syndrome des vibrations du système main-bras.

3.3 PRÉDICTIONS BASÉES SUR DES ÉTUDES PROSPECTIVES

Il n'y a eu qu'une seule étude prospective portant sur des groupes de travailleurs, dans laquelle le développement de troubles produits par des vibrations et l'exposition aux vibrations ont fait l'objet d'évaluations répétées (Taylor et coll. 1977). Dans cette étude annuelle portant sur un groupe de travailleurs forestiers, la prévalence et la gravité des signes vasculaires et des symptômes neurologiques ont été déterminées pour 46 ouvriers utilisant tous le même modèle de tronçonneuse. La vibration du modèle de tronçonneuse utilisé chaque année a également été mesurée. Les résultats sont présentés dans la figure 3-6 pour les phases 0, 3 et 1+2+3 des doigts blancs dûs aux vibrations, selon la classification de Taylor-Pelmear (tableau 1-2). La valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence des tronçonneuses, est indiquée dans la partie inférieure du diagramme.

Il est évident, d'après la figure 3-6, qu'il y a eu réduction importante des vibrations après environ sept années d'exposition, réduction qui coïncidait avec l'introduction de tronçonneuses dotées de poignées antivibration (isolantes). La consultation de la partie supérieure du diagramme révèle que la réduction des vibrations a été suivie d'un déclin progressif de la prévalence générale des doigts blancs dûs aux vibrations (phases 1+2+3) et d'un déclin marqué de la prévalence de la phase 3. Il est donc possible de conclure que le seuil des vibrations pour les doigts blancs dûs aux vibrations doit être inférieur à $a_K = 20\ m.s^{-2}$, bien qu'il soit impossible, à partir de ces données, de savoir si ce seuil se situe au-dessus ou au-dessous de l'accélération pondérée en fréquence produite par les tronçonneuses antivibration (a_K - 3-5 $m.s^{-2}$). Cependant, une étude plus récente effectuée par Taylor et ses collaborateurs au sujet d'un deuxième groupe extrait de cette population, celui-là composé de personnes s'étant

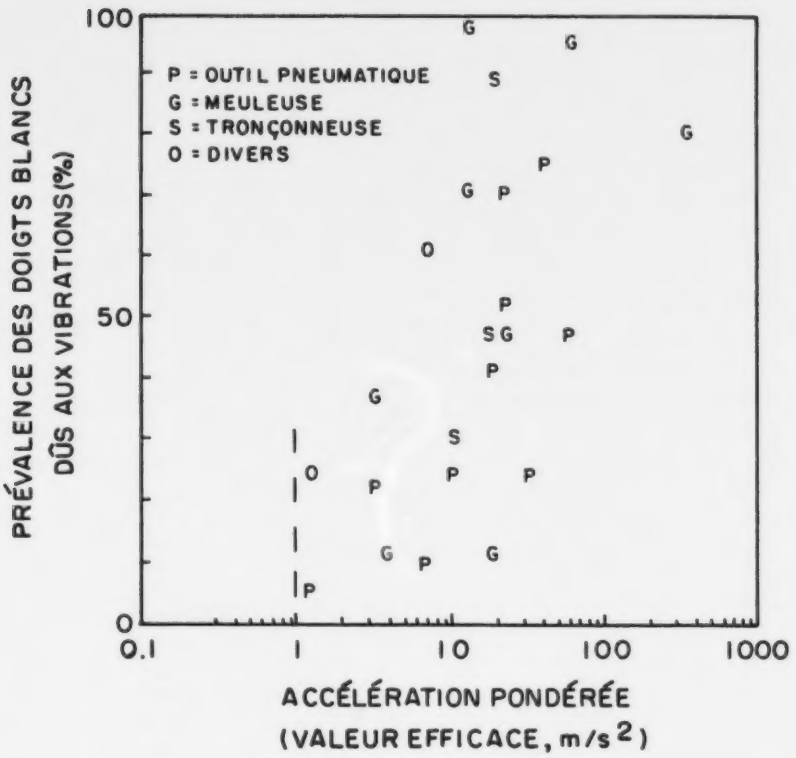


Figure 3-5. Rapport entre la prévalence des doigts blancs dûs aux vibrations et l'accélértion pondérée en fréquence (valeur efficace) produite par l'outil électrique (ou la pièce à usiner) utilisé par 23 groupes de travailleurs. Les sources de vibration sont divisées en quatre catégories : P, les outils pneumatiques; G, les outils à meuler; S, les tronçonneuses; O, divers (d'après Griffin (1982), avec la permission de John Wiley and Sons).

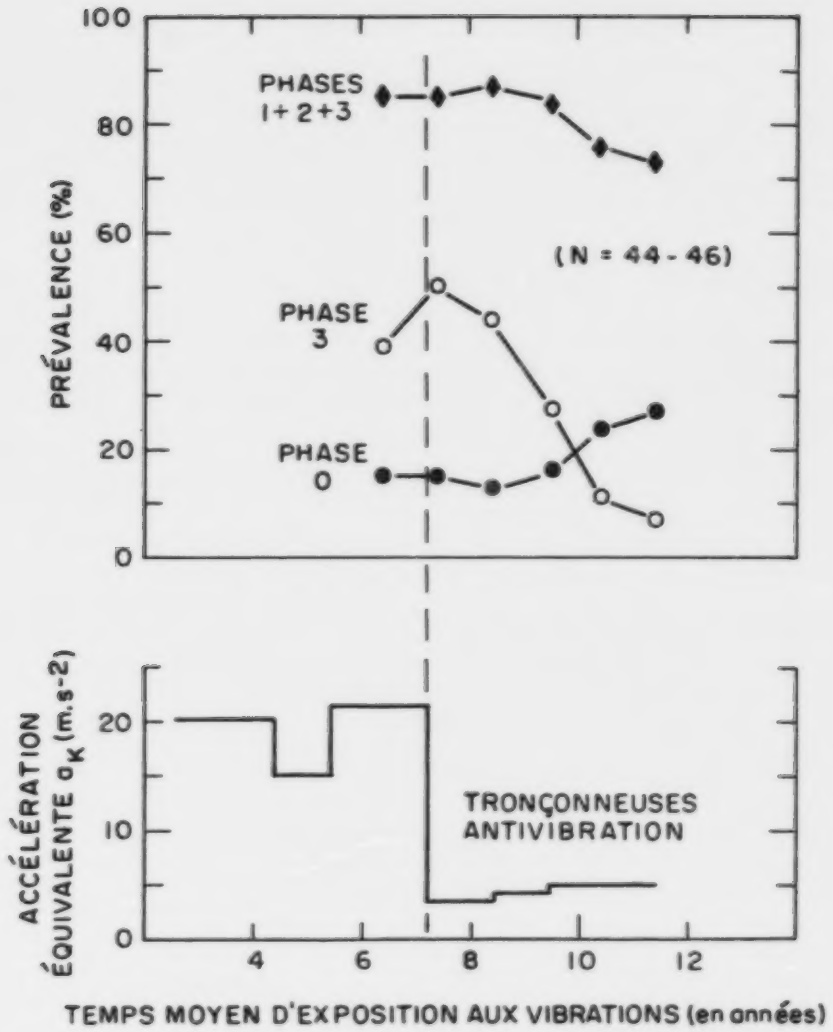


Figure 3-6. Prévalence de certaines phases des doigts blancs dûs aux vibrations d'après une étude prospective d'un groupe d'utilisateurs de tronçonneuses (diagramme supérieur); au cours de la période visée, la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence subie par les mains a été nettement réduite par l'introductioon de tronçonneuses dotées de poignées antivibration (diagramme inférieur) (Brammer 1982b, avec la permission de John Wiley and Sons).

servies seulement de tronçonneuses antivibration, a découvert quelques cas de doigts blancs dûs aux vibrations (Riddle et Taylor 1982). Il semble par conséquent que le seuil de vibration doive se situer au-dessous d'une accélération pondérée en fréquence d'environ 4,7 $m.s^{-2}$ (accélération moyenne des tronçonneuses du type antivibration).

3.4 SEUIL DE VIBRATION

Quatre méthodes permettant de déterminer un seuil d'apparition du syndrome des vibrations du système main-bras chez les personnes dont le travail comporte l'utilisation à plein temps d'un outil électrique, d'une machine-outil ou d'un procédé industriel transmettant des vibrations par les mains, ont été décrites. Les prédictions qu'elles permettent d'effectuer sont résumées au tableau 3-2 (Brammer 1983b). Bien que toutes ces méthodes aient des limites, chacune apporte une contribution importante à la détermination d'un seuil de vibration.

Les relations dose-effet sont les seules expressions fonctionnelles du lien entre les expositions aux vibrations et le développement des doigts blancs dûs aux vibrations. C'est grâce à elles que la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence, qui produit un retard suffisant de l'apparition des doigts blancs, peut être calculée pour n'importe quel percentile d'un groupe de travailleurs effectuant le même travail. Pour obtenir ces résultats, les relations dose-effet doivent être extrapolées pour de longues périodes de latence et de faibles prévalences de symptômes. Par ailleurs, le lien entre l'apparition du premier bout de doigt blanc et d'autres symptômes précoces du syndrome des vibrations du système main-bras, ne peut être décrit avec précision à l'heure actuelle.

Les résultats de l'étude effectuée au Japon par Miura et ses collaborateurs (1950) ne sont pas strictement comparables à ceux obtenus par d'autres méthodes, parce que les valeurs des seuils ne correspondent qu'à la contribution de l'accélération pondérée en fréquence à la fréquence de vibration dominante. L'inclusion des contributions d'autres fréquences de vibration pourrait augmenter ces valeurs, peut-être même de 50%. En outre, il aurait été impossible d'obtenir des travailleurs actifs des renseignements sur la fin de leur vie active, de sorte que le niveau de vibration mesuré pourrait entraîner l'apparition de troubles au cours de cette période. En outre, les études transversales tendent à sous-estimer la prévalence des troubles, parce que les personnes gravement atteintes des doigts blancs dûs aux vibrations sont enclines à mettre fin à l'exposition aux vibrations (c.-à-d., à changer d'emploi). L'introduction d'une correction pour compenser ces deux sous-estimations du danger possible de l'exposition aux vibrations, abaisserait le seuil de vibration présenté à la colonne 1 du tableau 3-2. En l'absence de renseignements plus complets sur l'importance de ces trois erreurs systématiques (et contradictories), aucun ajustement des accélérations fournies à la colonne 1 n'est

Tableau 3-2. Seuil de vibration en ce qui concerne le syndrome des vibrations du système main-bras, calculé au moyen de quatre méthodes différentes (et exprimé sous forme de la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence, en $m.s^{-2}$) (Brammer 1983b).

Apparition de picotements ou d'engourdissements		Apparition des doigts blancs	
Miura et collaborateurs[α]	Griffin	Relations dose-effet extrapolées[β]	Taylor et collaborateurs
1 - 2,1	1	1 - 2,9	≤ 4,7

[α] La valeur dépend de la fréquence de vibration dominante.

[α] Des épisodes de doigts blancs n'apparaissent pas au cours de la vie active.

considéré approprié. Néanmoins, malgré l'incertitude relative à la valeur précise du seuil de vibration ainsi déterminé, il reste que cette méthode est la seule à fournir une limite inférieure confirmée pour l'apparition des troubles provoqués par la vibration, parce qu'elle tient compte de données concernant des groupes qui n'ont aucun signe ou symptôme des vibrations du système main-bras.

L'analyse de Griffin (1982) est, elle aussi, sujette à la même critique que toutes les comparaisons de données provenant d'études transversales: la prévalence signalée des doigts blancs dûs aux vibrations subit l'influence du roulement non contrôlé des membres de chaque groupe et des différences de temps d'exposition entre les groupes. Cependant, cette analyse évite un obstacle important rencontré dans l'étude comparative de Miura et ses collaborateurs (1950) car elle ne tient compte que des études dans lesquelles les mesures des vibrations pouvaient être exprimées sous forme d'accélérations pondérées en fréquence (valeurs efficaces). L'accord entre les résultats obtenus par les deux méthodes (voir les colonnes 1 et 2 du tableau 3-2) est donc encourageant. En incluant les données contenues dans des études faites dans plusieurs pays par des chercheurs différents, l'analyse de Griffin (1982) évite également plusieurs des critiques qui peuvent être adressées à Miura (Miura et coll. 1950): en l'occurrence, que les résultats de ce dernier sont limités par des facteurs épidémiologiques tels que le groupe ethnique ou les conditions de travail au Japon, ou par les méthodes expérimentales utilisées.

L'étude prospective de Taylor et ses collaborateurs (1977), au contraire, contient des renseignements sur la progression des troubles dans une population témoin exposée à une source de vibrations connue. À ce titre, elle fournit la seule estimation du seuil de vibration qui évite de manière explicite les erreurs associées au roulement des membres d'un groupe au cours de la période d'exposition. Bien que la population visée soit complètement définie et que les vibrations transmises à la main soient mesurées à de multiples reprises au cours de l'exposition, l'étude prospective ne peut que faire état de la progression ou de l'apparition de symptômes provoqués par ce stimulus. Par conséquent, un seuil de vibratioon ne peut être fixé avec précision, bien que les données les plus récentes indiquent que ce seuil doit se situer au-dessous d'une accélération pondérée en fréquence de 4,7 $m.s^{-2}$ (valeur efficace) (Riddle et Taylor 1982).

Prises ensemble, les quatre méthodes fournissent des indices complémentaires concernant la valeur du seuil de vibration. La possibilité que ces trois méthodes aient des erreurs systématiques identiques est limitée, en ce qui concerne la limite supérieure du seuil, par les résultats de l'étude prospective (et, pour la limite inférieure, par les données de l'étude comparative portant sur 15 occupations, indiquées à la figure 3-4, ne faisant état d'aucun symptôme). En outre, le seuil de vibration relatif à l'apparition de symptômes neurologiques (colonnes 1 et 2) est en général un peu

inférieur à celui qui s'applique à l'apparition de signes vasculaires (colonnes 3 et 4); ce résultat respecte la relation dose-effet possible en ce qui concerne $\bar{t}_{PLE}$ dans la figure 2-5.

Il semble donc que le seuil de vibration applicable au syndrome des vibrations du système main-bras se situe dans la gamme de 1 à 2,7 $m.s^{-2}$, la limite supérieure étant fixée par la moyenne arithmétique des limites supérieures des résultats présentés dans le tableau 3-2. Comme le prévoient les deux reltions dose-effet, et comme le confirme les données indiquant une faible prévalence présentées dans les figures 3-2 et 3-5, une exposition prolongée à une accélération pondérée en fréquence de 3 $m.s^{-2}$ (valeur efficace) entraîne une prévalence importante des doigts blancs dûs aux vibrations. Une estimation prudente, et conforme à toutes les données épidémiologiques, de la limite supérieure du seuil de vibration, fournirait par conséquent une valeur légèrement inférieure à celle-là.

3.5 EXPOSITIONS TOLÉRABLES

D'après ce qui précède, une exposition à une accélération pondérée en fréquence d'une valeur efficace de 1 à 2 $m.s^{-2}$ ou moins, semble nécessaire pour éviter l'apparition de troubles chez des personnes dont les activités professionnelles entraînent la transmission de vibrations aux mains pendant toute la journée de travail. Une détermination plus précise d'une exposition tolérable à l'aide des résultats de la partie III, n'est probablement pas justifiée, par suite du risque d'erreur associé à chaque méthode. Malgré tout, la valeur efficace maximale de a_K tolérée par la main avant l'apparition de symptômes, peut être établie avec suffisamment de précision pour servir d'objectif en vue de la conception de machines-outils et d'outils électriques nouveaux et améliorés. Signalons que les vibrations produites par plusieurs outils électriques et procédés industriels dépassent actuellement ces valeurs (Miwa et Yonekawa 1974; Hempstock et O'Connor 1975; Brammer 1978).

Outre qu'elle exige des renseignements sur l'apparition des troubles, la détermination d'une limite de vibration aux fins de la réglementation de l'exposition professionnele aux vibrations, fait intervenir des considérations (socio-économiques, notamment) qui dépassent la portée de la présente monographie[α]. Cependant, des limites de vibration fondées uniquement sur les effets nuisibles prévus pour la santé ont été établies par un comité de l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Ces limites ont apparemment été fixées à l'aide

---

[α] Le sujet a été récemment étudié par l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists, et une valeur - seuil provisoire devait être publiée en 1984 (ACGIH 1984).

Tableau 3-3. Limites établies dans les propositions récentes de l'ISO (exprimées sous forme d'accélération pondérée en fréquence en $m.s^{-2}$ (valeur efficace)) en ce qui concerne une exposition quotidienne aux vibrations d'entre quatre et huit heures.

T^{α} (min/heure)	ISO/DIS 5349, 1979 (ISO 1979)	ISO/TC 108/SC 4 Projet 1980 (ISO 1980)
$0 \leq T \leq 20$	1,4	2-4
$20 \leq T \leq 30$	2,8	2-4
$30 \leq T \leq 40$	4,2	2-4
≥ 40	5,6	2-4

$^{\alpha}$ T est l'intervalle de temps périodique sans exposition aux vibrations.

d'évaluations subjectives de niveaux de vibration "désagréables", de courbes de vibrations équivalentes ressenties et de mesures de la transmission des vibrations au système main-bras (Griffin 1980). Les deux plus récentes propositions établissant les limites applicables aux expositions quotidiennes d'une durée de quatre à huit heures, sont fournies au tableau 3-3 (ISO 1979; 1980). L'effet bénéfique prévu des interruptions d'exposition est signalé dans le premier projet de norme internationale, ISO/DIS 5349 (1979), par l'entremise d'un adoucissement de la limite en cas d'augmentation de la durée horaire de la période libre de vibration, T. Dans ce projet, l'élargissement maximal de la limite de vibration pour un exposition intermittente au cours de laquelle l'exposition quotidienne totale, cumulative, se maintient entre quatre et huit heures, est du quadruple. Par contre, aucun ajustement tenant compte des interruptions n'apparaît dans le projet le plus récent de l'ISO (1980) établissant une limite de vibration[β]; cette dernière propose plutôt comme limite une accélération pondérée en fréquence d'une valeur efficace située entre 2 et 4 $m.s^{-2}$.

Il est evident que seules les valeurs minimales des limites présentées au tableau 3-3 correspondent à un niveau d'exposition tolérable, d'après les résultats des études épidémiologiques portant sur des sujets dont les mains recevaient des vibrations de façon discontinueau cours de la journée de travail. À la lumière des renseignements contenus dans la section 3.4, il est vraisemblable de conclure qu'une exposition habituelle à une accélération pondérée en fréquence de 3 $m.s^{-2}$ ou plus, entraînera l'apparition de troubles provoqués par les vibrations au cours de la vie active d'un travailleur.

β En règle générale, le comité de l'ISO ne tente plus d'établir des limites relatives à l'exposition aux vibrations, mais essaie plutôt de définir des relations dose-effet. Une annexe au deuxième projet de norme internationale concernant l'exposition aux vibrations du système main-bras de l'ISO (1984), contient les relations dose-effet relatives à l'apparition des doigts blancs, présentées à la section 3-1.

BIBLIOGRAPHIE

ACGIH. 1984. Hand-arm (segmental) vibration. In Threshold limit values for chemical substances and physical agents in the work environment, and biological exposure indices with intended changes for 1984-85. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati. (In press).

Ashe, W.F., Cook, W.T. and Old, J.W. 1962. Raynaud's phenomenon of occupational origin. Arch. Environ. Health 5: 333-343.

Azuma, T. and Ohhashi, T. 1982. Pathophysiology of vibration-induced white finger: etiological considerations and proposals for prevention. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 31-38.

Banister, P.A. and Smith, F.V. 1972. Vibration-induced white fingers and manipulative dexterity. Br. J. Ind. Med. 29: 264-267.

Behrens, V., Taylor, W. and Wasserman, D.E. 1982. Vibration syndrome in workers using pneumatic chipping and grinding tools. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 147-155.

Brammer, A.J. 1978. Chain saw vibration: its measurement, hazard and control. National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario (Report NRC 18803/APS-599).

Brammer, A.J. 1982a. Relations between vibration exposure and the development of the vibration syndrome. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 283-290.

Brammer, A.J. 1982b. Threshold limit for hand-arm vibration exposure throughout the workday. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 291-301.

Brammer, A.J. 1983a. Dose-response relationships for the hand-arm vibration syndrome with reference to neuro-vegetative effects. J. Low Freq. Noise Vib. Special Volume #1: 151-162.

Brammer, A.J. 1983b. Threshold limit value for exposure of the hand to vibration. J. Acoust. Soc. Am. 73: S8.

Brammer, A.J. 1984. Modèle pour l'apparition des doigts blancs pendant l'exposition des mains aux vibrations des tronçonneuses. Arch. Mal. Prof. (In press).

Brammer, A.J. and Taylor, W. (Editors.) 1982. Vibration effects on the hand and arm in industry. John Wiley and Sons, New York.

Drogitchina, E.A. 1971. The clinical picture of the vibration disease. In Vibration in industry. Edited by A.A. Letaveta and E.A. Drogitchina. Moskva: Izdatel'stvo "Meditsina": 122-159.

Färkkilä, M., Starck, J., Hyvärinen, J. and Kurppa, K. 1978. Vasospastic symptoms caused by asymmetrical vibration exposure of the upper extremities to a pneumatic hammer. Scand. J. Work, Environ. Health 4: 330-335.

Färkkilä, M., Pyykkö, I., Korhonen, O. and Starck, J. 1979. Hand grip forces during chain saw operation and vibration white finger in lumberjacks. Br. J. Ind. Med. 36: 336-341.

Färkkilä, M.A., Pyykkö, I., Starck, J.P. and Korhonen, O. 1982. Hand grip force and muscle fatigue in the etiology of the vibration syndrome. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 45-50.

Fukuda, H., Satow, A. and Miyaoka, T. 1982. Equal-sensation contours and a threshold curve for low-frequency vibrotactile stimuli on the glabrous skin of the human hand. Shinrigaku Kenkyu 53: 169-173.

Futatsuka, M., Takamatsu, M., Sakurai, T., Maeda, K., Esaki, H., Hirosawa, I. and Wakaba, K. 1980. Vibration hazards in forestry workers of the chain saw operators of a determined areas in Japan. J. Sci. Labour 56(9, Pt. 2): 27-48.

Gidlund, L. and Lindqvist, B. 1982. Age-old method gets a new lease on life. Stockholm: Atlas Copco Tools AB, Communications and External Relations, (unpublished).

Griffin, M.J. 1980. Vibration injuries of the hand and arm: their occurrence and the evolution of standards and limits. London: Her Majesty's Stationery Office (Health and Safety Executive Research Paper 9).

Griffin, M.J. 1982. Hand-arm vibration standards and dose-effect relationships. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 259-268.

Hamilton, A. 1918. A study of spastic anemia in the hands of stonecutters. Bull. U.S. Bureau of Labor Statistics, no. 236: Ind. Accidents and Hygiene Series, No. 19: 53-66. Government Printing Office, Washington.

Hasan, J. 1970. Biomedical aspects of low-frequency vibration: a selective review. Work Environ. Health 6: 19-45.

Hempstock, T.I. and O'Connor, D.E. 1975. The measurement of hand-arm vibration. In Vibration white finger in industry. Edited by W. Taylor and P.L. Pelmear. Academic Press, London. p. 111-122.

ISO. 1979. Principles for the measurement and the evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand. Draft International Standard 5349. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO. 1980. Guide for the measurement and the assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand. International Organization for Standardization. Committee document ISO/TC 108/SC 4 N95, (unpublished).

ISO. 1982. Human-response vibration measuring instrumentation. Second Draft Proposal DP 8041. International Organization for Standardization. Committee document ISO/TC 108/SC 3 N99, (unpublished).

ISO. 1984. Guide for the measurement and the assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand. Draft International Standard 5349.2. International Organization for Standardization, Geneva.

James, P.B. and Galloway, R.W. 1975. Arteriography of the hand in men exposed to vibration. In Vibration white finger in industry. Edited by W. Taylor and P.L. Pelmear. Academic Press, London. p. 31-41.

Juntunen, J. and Haltia, M. 1982. Polyneuropathies in occupational neurology: pathogenic and clinical aspects. In Occupational neurology. Edited by J. Juntunen. Acta Neurol. Scand., Suppl. 92: 59-73.

Klimkovà-Deutschovà, E. 1966. Neurologische aspekte der vibrationskrankheit. Int. Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg. 22: 297-305.

Kumlin, T., Wiikeri, M. and Sumari, P. 1973. Radiological changes in carpal and metacarpal bones and phalanges caused by chain saw vibration. Br. J. Ind. Med. 30: 71-73.

Lewis, T. 1938. The pathological changes in the arteries supplying the fingers in warm-handed people and in cases of so-called "Raynaud's disease". Clin. Sci. 3: 287-313.

Lewis, T. 1949. Vascular disorders of the limbs. 2nd ed. Macmillan, London.

Lewis, T. and Pickering, G.W. 1934. Observations upon maladies in which the blood supply to digits ceases intermittently or permanently, and upon bilateral gangrene of digits; observations relevant to so-called "Raynaud's disease". Clin. Sci. 1: 327-366.

Lidström, I.-M., Hagelthorn, G. and Bjerker, N. 1982. Vibration perception in persons not previously exposed to local vibration and in vibration-exposed workers. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 59-65.

Loriga, G. 1911. Il lavoro con i martelli pneumatici. Boll. Inspett. Lavoro 2: 35-60.

Magos, L. and Okos, G. 1963. Raynauds phenomenon: the situation in the Hungarian iron, steel and engineering industry. Arch. Environ. Health 7: 341-345.

Marshall, J., Poole, E.W. and Reynard, W.A. 1954. Raynaud's phenomenon due to vibrating tools: neurological observations. Lancet I: 1151-1156.

Matoba, T., Kusumoto, H. and Takamatsu, M. 1975. A new criterion of the severity of the vibration disease. Jpn. J. Ind. Health 17: 211-214.

Matsumoto, T., Yamada, S. and Harada, N. 1979. A comparative study of vibration hazards among operators of vibrating tools in certain industries. Arh. Hig. Rada Toksikol. 30: 701-717.

Miura, T., Morioka, M., Kimura, K. and Akutu, A. 1950. On the occupational hazards by vibrating tools: Report 4. J. Sci. Labour 35: 760-767.

Miwa, T. 1967. Evaluation methods for vibration effect, Part 3: measurement of threshold and equal sensation contours on hand for vertical and horizontal sinusoidal vibrations. Ind. Health (Japan) 5: 213-220.

Miwa, T. 1982. Vibration-isolation systems for hand-held vibrating tools. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 303-316.

Miwa, T. and Yonekawa, Y. 1974. Measurement of vibrations generated from portable vibrating tools. Ind. Health (Japan) 12: 1-21.

Miyashita, K., Shiomi, S., Itoh, N., Kasamatsu, T. and Iwata, H. 1982. Development of the vibration syndrome among chain sawyers in relation to their total operating time. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 269-276.

Moncada, S., Higgs, E.A. and Vane, J.R. 1977. Human arterial and venous tissues generate prostacyclin (prostaglandin X), a potent inhibitor of platelet aggregation. Lancet I: 18-21.

Nishiyama, K. and Watanabe, S. 1981. Temporary threshold shift of vibratory sensation after clasping a vibrating handle. Int. Arch. Occup. Environ. Health 49: 21-33.

Okada, A., Ariizumi, M. and Fuginaga, H. 1982. Diagnosis of the vibration syndrome by blood viscosity. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 67-70.

Pelmear, P.L. 1973. An epidemiological study of Raynaud's phenomenon of occupational origin. Univ. of London. M.D. thesis. (unpublished).

Pickering, G.W. 1951. Vascular spasm. Lancet II: 845-850.

Pringle, R., Walder, D.N. and Weaver, J.P.A. 1965. Blood viscosity and Raynaud's disease. Lancet I: 1086-1088.

Pyykkö, I. 1976. Vibration syndrome: a review. In Vibration and work. Edited by O. Korhonen. Inst. of Occup. Health: Helsinki. p. 1- 24.

Pyykkö, I., Korhonen, O.S., Färkkilä, M.A., Starck, J.P. and Aatola, S.A. 1982. A longitudinal study of the vibration syndrome in Finnish forestry workers. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 157-167.

Raynaud, M. 1888. On local asphyxia and symmetrical gangrene of the extremities. The New Syndenham Society (Selected Monographs). London.

Redwood, R.A., Beale, K.P. and Wiseman, A.S. 1977. Measurement of hand-arm vibration levels caused by chipping hammers of two designs. Ann. Occup. Hyg. 20: 369-373.

Riddle, H.F.V. and Taylor, W. 1982. Vibration-induced white finger among chain sawyers nine years after the introduction of anti-vibration measures. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 169-172.

Rothstein, T. 1918. Report of the physical findings in eight stonecutters from the limestone region of Indiana. Bull. U.S. Bureau of Labor Statistics, No. 236: Ind. Accidents and Hygiene Series, No. 19: 67-960. Government Printing Office, Washington.

Sedlacek, K. 1979. Bio-feedback for Raynaud's disease. Psychosomatics 20: 538-544.

Stranden, E., Roald, O.K. and Krohg, K. 1982. Treatment of Raynaud's phenomenon with the 5-HT_2-receptor antagonist ketanserin. Br. Med. J. 285: 1069-1071.

Taylor, W. and Brammer, A.J. 1982. Vibration effects on the hand and arm in industry: an introduction and review. In Vibration effects on the hand and arm in industry. Edited by A.J. Brammer and W. Taylor. John Wiley and Sons, New York. p. 1-12.

Taylor, W. and Pelmear, P.L. (Editor.) 1975. Vibration white finger in industry. Academic Press, London.

Taylor, W., Pearson, J.C.G. and Keighley, G.D. 1977. A longitudinal study of Raynaud's phenomenon in chain saw operators. In Proc. of the int. occup. hand-arm vibration conf. Cincinnati, OH: Edited by D.E. Wasserman, W. Taylor and M.G. Curry. Dept. of Health, Education, and Welfare, 1977. NIOSH publication No. 77-170: p. 69-76.

Teleky, L. 1938. Pneumatic tools. In Occupation and health: Encyclopedia of hygiene, pathology and social welfare. Edited by International Labour Office. International Labour Office, Geneva. (Supplement): p. 1-12.

Verrillo, R.T. 1980. Age related changes in the sensitivity to vibration. J. Gerontol 35: 185-193.

Walton, K.W. 1974. The pathology of Raynaud's phenomenon of occupational origin. In The vibration syndrome. Edited by W. Taylor. Academic Press, London. p. 109-119.

Welsh, C.L. 1980. The effect of vibration on digital blood flow. Br. J. Surg. 67: 708-710.

Zahavi, J., Hamilton, W.A.P., O'Reilly, M.J.G., Leyton, J., Cotton, L.T. and Kakkar, V.V. 1980. Plasma exchange and platelet function in Raynaud's phenomenon. Thromb. Res. 19: 85-94.

PUBLICATIONS

of the
du

Environmental Secretariat
Secrétariat de l'environnement

NRCC Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality
CNRC-Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement

NRCC No. CNRC n°	
12678	Inventory of Pollution-Relevant Research in Canada. Interim Report, Vols. 1, 2. Etat de recherches sur la pollution au Canada. Rapport provisoire, Tomes 1, 2. 1972. 310 pp. $6.50. (Out of print - Edition épuisée)
14108	Inventory of Pollution-Relevant Research in Canada. Vols. 3, 4. Etat de recherches sur la pollution au Canada. Tomes 3, 4. 1975. 558 pp. $6.50.
12226	Environmental Fluoride (Special Report). 1971. 39 pp.
12226	Le fluor dans l'environnement. 1971. 41 pp.
13079	Detection and Inactivation of Enteroviruses in Water. 1973. 26 pp. $1.25.
13080	Problems and Selection of Topics for Compilation of Cause/Effect Data. 1973. 51 pp. $1.25.
13236	Détection et inactivation des entérovirus dans l'eau. 1973. 30 pp. $1.25.
13339	Problèmes et choix de thèmes en vue d'une compilation de données cause/effet. 1974. 45 pp. $1.25.
13501	The Effects of Pulp and Paper Wastes on Aquatic Life with Particular Attention to Fish and Bioassay Procedures for Assessment of Harmful Effects. 1973. 60 pp. $2.50.
13502	L'effet des déchets de pâtes et papier sur la vie aquatique. 1974. 75 pp. $2.50.
13566	A Criteria Digest on Radioactivity in the Environment. 1974. 53 pp. $1.50.
13567	Un résumé de critères sur la radioactivité dans l'environnement. 1974. 45 pp. $1.50.
13682	Lead in the Canadian Environment. 1973. 116 pp. $2.00. (Out of print - See NRCC 16736).
13683	Le plomb dans l'environnement canadien. 1973. 130 pp. $2.00. (Edition épuisée - voir CNRC 16737).
13684	Picloram: The Effects of Its Use as a Herbicide on Environmental Quality. 1974. 128 pp. $5.00.
13685	Piclorame: les effets de son utilisation comme herbicide sur l'état de l'environnement. 1974. 130 pp. $1.00.
13686	A Method of Monitoring Nationally for Possible Delayed Effects of Various Occupational Environments. 1974. 42 pp. $1.25.
13687	Une méthode de surveillance nationale des effets possibles, à long terme, du milieu professionnel sur la santé. 1974. 40 pp. $1.25.
13688	Environmental Cause/Effect Phenomena Relating to Technological Development in the Canadian Arctic. 1974. 125 pp. $2.00.
13689	Phénomènes environnementaux de cause à effet liés au progrès technique dans l'arctique. 1974. 128 pp. $2.00.
13690	The Application of the Phosphorus Loading Concept to Eutrophication Research. 1974. 42 pp. $1.25.
13691	Application du concept de la vitesse d'apport de phosphore par unité de surface à la recherche sur l'eutrophisation. 1974. 44 pp. $1.25.

Available through prepaid purchase orders from

En vente, moyennant commandes prepayées, au Service des

Publications, NRCC/CNRC
Ottawa, Ontario K1A 0R6

NRCC No.
CNRC n°

14094 Chlordane: Its Effects on Canadian Ecosystems and Its Chemistry. 1974. 189 pp. $1.00.

14095 Chlordane: ses effets sur les ecosystèmes canadiens et sa chimie. 1975. 192 pp. $1.00.

14096 Photochemical Air Pollution: Formation, Transport and Effects. 1975. 224 pp. $2.50.

14097 La pollution photochimique de l'air: sa formation, son transport et ses effets. 1976. 203 pp. $2.50.

14098 Endosulfan: Its Effects on Environmental Quality. 1975. 100 pp. $1.25.

14099 Endosulfan: ses effets sur l'état de l'environnement. 1976. 98 pp. $1.25.

14100 Waterborne Dissolved Oxygen Requirements and Criteria With Particular Emphasis on the Canadian Environment. 1975. 111 pp. $2.00.

14101 Exigences et critères relatifs à l'oxygène dissous dans l'eau, et leurs particularités à l'environnement canadien. 1976. 111 pp. $2.00.

14102 Methoxychlor: Its Effects on Environmental Quality. 1975. 164 pp. $2.00.

14103 Méthoxychlore: ses effets sur l'état de l'environnement. 1976. 161 pp. $2.00.

14104 Fenitrothion: The Effects of Its Use on Environmental Quality and Its Chemistry. 1975. 162 pp. $2.00.

14105 Fénitrothion: effets de son utilisation sur l'état de l'environnement, et sa chimie. 1976. 164 pp. $2.00.

14106 Arboviruses and Human Health in Canada. 1975. 35 pp. $1.25.

14107 Arbovirus pathogènes au Canada. 1976. 40 pp. $1.25.

14109 Waste Heat in the Aquatic Environment. 1975. 40 pp. $1.00.

14110 Pollution thermique de l'environnement aquatique. 1976. 68 pp. $1.00.

15015 Sulphur and Its Inorganic Derivatives in the Canadian Environment. 1977. 426 pp. $5.00.

15016 Le soufre et ses dérivés minéraux dans l'environnement canadien. 1978. 441 pp. $5.00.

15017 Effects of Chromium in the Canadian Environment. 1976. 168 pp. $2.00.

15018 Les effets du chrome dans l'environnement canadien. 1977. 162 pp. $2.00.

15019 The Effects of Alkali Halides in the Canadian Environment. 1977. 171 pp. $2.00.

15020 Les effets des halogénures alcalins dans l'environnement canadien. 1977. 171 pp. $2.00.

15021 The Effects of Petroleum Refinery Liquid Wastes on Aquatic Life, with Special Emphasis on the Canadian Environment. 1976. 77 pp. $2.00.

15022 Les effets des déchets liquides du raffinage du pétrole sur la vie aquatique, particulièrement dans l'environnement canadien. 1977. 86 pp. $2.00.

15023 NTA (Nitrilotriacetic Acid) - An Ecological Appraisal. 1976. 46 pp. $1.25.

15024 NTA (acide nitrilotriacétique) - une analyse écologique. 1977. 48 pp. $1.25.

15383 Effects of Noise on Man. 1976. 87 pp. $2.50.

15384 Les effets du bruit sur l'homme. 1977. 92 pp. $2.50.

15385 *Bacillus thuringiensis*: Its Effects on Environmental Quality. 1976. 133 pp. $2.00.

15386 *Bacillus thuringiensis*: ses effets sur l'état de l'environnement. 1977. 127 pp. $2.00.

15387 Medicare Data: Its Use in Defining the Effects of the Environment on Health. 1977. 164 pp. $2.50.

15388 Les statistiques de l'assurance-maladie et leur rôle dans la définition de l'influence de l'environnement sur la santé. 1978. 166 pp. $2.50.

NRCC No.
CNRC n°

15389 Fenitrothion: The Long Term Effects of Its Use in Forest Ecosystems - Current Status. 1977. 18 pp. $1.00.

16074 Fénitrothion: effets à long terme de son utilisation dans les écosystèmes forestiers - situation actuelle. 1977. 20 pp. $1.00.

15391 Effects of Arsenic in the Canadian Environment. 1978. 363 pp. $2.00.

15392 Les effets de l'arsenic sur l'environnement canadien. 1979. 415 pp. $2.00.

16073 Proceedings of a Symposium on Fenitrothion: The Long-Term Effects of Its Use in Forest Ecosystems. Comptes rendus du symposium sur le fénitrothion: les effets à long terme de son utilisation dans les écosystèmes forestiers. 1977. 628 pp. $10.00.

16075 Phenoxy Herbicides: Their Effects on Environmental Quality with Accompanying Scientific Criteria for 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD). 1978. 440 pp. $10.00.

16076 Herbicides phénoxy - analyse de leurs effets sur l'état de l'environnement accompagnée de critères scientifiques à l'égard de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine (TCDD). 1979. 452 pp. $2.00.

16077 Polychlorinated Biphenyls: Biological Criteria for an Assessment of Their Effects on Environmental Quality. 1978. 172 pp. $2.00.

16078 Polychlorobiphényles: critères biologiques pour évaluer leurs effets sur l'état de l'environnement. 1979. 208 pp. $2.00.

16079 Ecotoxicology of Chlorpyrifos. 1978. 314 pp. $2.00.

16080 Ecotoxicologie du chlorpyrifos. 1979. 250 pp. $2.00.

16081 Environmental Fluoride 1977. 1978. 152 pp. $5.00.

16082 Le fluorure dans l'environnement, 1977. 1979. 175 pp. $2.00.

16446 Effects of Ultraviolet Radiation on Man. 1978. 90 pp. $2.00.

16447 Les effets du rayonnement ultraviolet sur l'homme. 1979. 91 pp. $2.00.

16448 The Biological Effects of Radio-frequency and Microwave Radiation. 1979. 244 pp. $5.00.

16449 Effets biologiques des radiofréquences et des micro-ondes. 1980. 244 pp. $5.00.

16450 The Aqueous Chlorination of Organic Compounds: Chemical Reactivity and Effects on Environmental Quality. 1978. 136 pp. $5.00.

16451 Chloration en milieu aqueux de composés organiques: réactivité chimique et effets sur l'état de l'environnement. 1979. 149 pp. $2.00.

16452 Effects of Asbestos in the Canadian Environment. 1979. 185 pp. $3.00.

16453 Les effets de l'amiante dans l'environnement au Canada. 1980. 212 pp. $3.00.

16454 Copper in the Aquatic Environment: Chemistry, Distribution, and Toxicology. 1979. 227 pp. $3.00.

16455 Le cuivre dans l'environnement aquatique: chimie, répartition et toxicologie. 1980. 249 pp. $3.00.

16736 Effects of Lead in the Environment - 1978. Quantitative Aspects. 1979. 779 pp. $10.00.

16737 Effets du plomb dans l'environnement - 1978. Aspects quantitatifs. 1980. 853 pp. $5.00.

16738 Report of a Special Conference on Hearing Threshold Levels of "Isolated" Human Populations. Comptes rendus du symposium spécial sur les niveaux d'audition des populations humaines "isolées". 1978. 104 pp. $3.00.

16739 Effects of Mercury in the Canadian Environment. 1979. 290 pp. $3.00.

16742 Effets du mercure dans l'environnement au Canada. 1980. 292 pp. $3.00.

NRCC No.
CNRC n°

16740 Carbofuran: Criteria for Interpreting the Effects of Its Use on Environmental Quality. 1979. 191 pp. $2.00.

16741 Carbofurane: critères pour interpréter les effets de son utilisation sur l'état de l'environnement. 1980. 184 pp. $2.00.

16743 Effects of Cadmium in the Canadian Environment. 1979. 148 pp. $5.00.

16744 Les effets du cadmium dans l'environnement canadien. 1979. 150 pp. $3.00.

16745 Effects of Lead in the Canadian Environment - 1978. Executive Report.
Effets du plomb dans l'environnement canadien - 1978. Rapport administratif.
1979. 24 pp. $1.00.

17581 Water Hardness, Human Health, and the Importance of Magnesium. 1979. 119 pp. $3.00.

17582 Dureté de l'eau, santé et importance du magnésium. 1980. 123 pp. $3.00.

17583 Phthalate Esters in the Aquatic Environment. 1980. 108 pp. $3.00.

17584 Esters phtaliques dans l'environnement aquatique. 1981. 110 pp. $3.00.

17585 Executive Reports: Effects of Chromium, Alkali Halides, Arsenic, Asbestos, Mercury, and Cadmium in the Canadian Environment. 80 pp.
Rapports Administratifs: effets du chrome, des halogénures alcalins, de l'arsenic, de l'amiante, du mercure, et du cadmium sur l'environnement canadien. 92 pp.
1980. $3.00.

17586 A Case Study of a Spill of Industrial Chemicals - Polychlorinated Biphenyls and Chlorinated Benzenes. 1980. $5.00.

17587 Effects of Yellow Phosphorus in the Canadian Environment. 1981. 110 pp. $3.00.

17588 Effets du phosphore blanc sur l'environnement canadien. 1981. 112 pp. $3.00.

17589 Zinc in the Aquatic Environment: Chemistry, Distribution, and Toxicology. 1981. 145 pp. $3.00.

17590 Le zinc dans l'environnement aquatique: chimie, répartition et toxicologie. 1981. 152 pp. $3.00.

18128 Intestinal Parasites of Man in the Canadian Environment. 1980. 69 pp. $2.00.

18129 Les parasites intestinaux de l'homme dans l'environnement canadien. 1980. 70 pp. $2.00.

18130 The Ecological Consequences of Dredging and Dredge Spoil Disposal in Canadian Waters. 1982. 142 pp. $5.00.

18131 Les conséquences écologiques du dragage et de l'élimination des résidus du dragage dans les eaux canadiennes. 1983. 150 pp. $5.00.

18132 Effects of Vanadium in the Canadian Environment. 1980. 94 pp. $2.00.

18133 Effets du vanadium dans l'environnement canadien. 1981. 92 pp. $2.00.

18134 Radioactivity in the Canadian Environment. 1980. 129 pp. $3.00.

18135 La radioactivité dans l'environnement canadien. 1981. 133 pp. $3.00.

18156 The Report of the *ad hoc* Panel Convened by the National Research Council of Canada to Review the Spill of Polychlorinated Biphenyls at the Federal Pioneer Ltd. Site in Regina, Saskatchewan. 30 January 1980. 15 pp.

18467 Hydrogen Sulfide in the Atmospheric Environment: Scientific Criteria for Assessing its Effects on Environmental Quality. 1981. 196 pp. $5.00.

18468 Sulfure d'hydrogène dans l'environnement atmospherique: critères scientifiques pour évaluer ses effets sur la qualité de l'environnement. 1982. 204 pp. $5.00.

NRCC No.
CNRC n°

18469 Ethylenethiourea: Criteria for the Assessment of its Effects on Man. 1980. 149 pp. $3.00.

18470 Ethylène-thiourée: critères pour évaluer ses effets sur l'homme. 1981. 187 pp. $3.00.

18471 Pesticide-Pollinator Interactions. 1981. 190 pp. $5.00.

18472 Interactions entre pesticides et pollinisateurs. 1981. 223 pp. $5.00.

18473 Effects of Aerosols on Atmospheric Processes. 1982. 208 pp. $8.00.

18474 Effets des aérosols sur les processus atmosphériques. 1983. 230 pp. $8.00.

18475 Acidification in the Canadian Aquatic Environment: Scientific Criteria for Assessing the Effects of Acidic Deposition on Aquatic Ecosystems. 1981. 369 pp. $10.00.

18476 Acidification dans l'environnement aquatique au Canada: critères scientifiques pour évaluer les effets du dépôt acide sur les écosystèmes aquatiques. 1982. 377 pp. $10.00.

18564 Effects of Inhaled Particles on Human Health: Influence of Particle Size and Shape. 1982. 177 pp. $8.00.

18565 Effets sur la santé des particules absorbées par voie respiratoire: influence de leur taille et de leur forme. 1983. 195 pp. $8.00

18566 Thermal Effects Upon Fishes. 1982. 200 pp. $8.00.

18567 Effets de la pollution thermique sur les poissons. 1983. 210 pp. $8.00.

18568 Effects of Nickel in the Canadian Environment. 1981. 352 pp. $4.00.

18569 Effets du nickel sur l'environnement canadien. 1982. 347 pp. $4.00.

18570 A Screen for the Relative Persistence of Lipophilic Organic Chemicals in Aquatic Ecosystems - An Analysis of the Role of a Simple Computer Model in Screening.
I. A Simple Computer Model as a Screen for Persistence.
II. An Introduction to Process Analyses and Their Use in Preliminary Screens of Chemical Persistence.
1981. 302 pp. $8.00.

18571 Contrôle de la persistance relative de produits organiques lipophiles dans les écosystèmes aquatiques - analyse du rôle d'une simple simulation par ordinateur. 1982. 335 pp. $8.00.

18572 Effects of Propoxur on Environmental Quality with Particular Reference to its Use for Control of Biting Flies. 1982. 238 pp. $8.00.

18573 Les effets du propoxur sur la qualité de l'environnement, notamment quant à son emploi dans la lutte contre les insectes piqueurs. 1982. 253 pp. $8.00.

18574 Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins: Criteria for Their Effects on Man and his Environment. 1981. 251 pp. $8.00.

18575 Polychlorodibenzo-p-dioxines: critères relatifs à leurs effets sur l'homme et son environnement. 1982. 276 pp. $8.00.

18576 Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins: Limitations to the Current Analytical Techniques. 1981. 184 pp. $8.00.

18577 Polychlorodibenzo-p-dioxines: limites des méthodes analytiques actuelles. 1982. 186 pp. $8.00.

18578 Chlorinated Phenols: Criteria for Environmental Quality. 1982. 191 pp. $8.00.

18579 Chlorophénols: critères pour évaluer leurs effets sur l'état de l'environnement. 1982. 217 pp. $8.00.

18976 Farm Animal Manures in the Canadian Environment. 1983. 139 pp. $8.00

18977 L'effet du fumier dans l'environnement canadien. 1983. 145 pp.

18978 Workshop on the Combined Effects of Xenobiotics.
Atelier sur les effets combinés des xenobiotiques.
1982. 253 pp. $8.00.

NRCC No.
CNRC n°

18979 Aminocarb: The Effects of its Use on the Forest and the Human Environment. 1982. 253 pp. $8.00.

18980 Aminocarbe: effets de son utilisation sur la forêt et l'environnement. 1983. 271 pp. $8.00

18981 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment: Formation, Sources, Fate and Effects on Aquatic Biota. 1983. 209 pp. $8.00

18982 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le milieu aquatique: formation, sources, devenir et effets sur le biote aquatique. 1984. 218 pp. $8.00

18983 The Need for New Directions in Toxicological Funding.
Le besoin d'une nouvelle politique en ce qui concerne les subventions dans le domaine toxicologique. 1982. 11 pp. $2.00.

19244 Ultrasound: Characteristics and Biological Action. 1981. 284 pp. $8.00.

19245 Les ultrasons: caractéristiques et action biologique. 1982. 284 pp. $8.00.

19246 The Effects of Cyanides on Aquatic Organisms with Emphasis upon Freshwater Fishes. 1982. 139 pp. $5.00.

19247 Effets des cyanures sur les organismes aquatiques, notamment sur les poissons d'eau douce. 1983. 144 pp. $5.00.

19248 Biting Flies in Canada: Health Effects and Economic Consequences. 1982. 157 pp. $5.00.

19249 Insectes piqueurs au Canada: effets sur la santé et conséquences économiques. 1983. 169 pp. $5.00.

19250 Radioactivity in the Canadian Aquatic Environment. 1983. 292 pp. $8.00

19251 La radioactivité dans l'environnement aquatique au Canada. 1983. 292 pp. $8.00

19252 Data Sheets on Selected Toxic Elements. 1982. 61 pp. $5.00.

19253 Fiches de données sur certains éléments toxiques. 1983. 48 pp. $5.00

20640 Cold: Special Aspects in the Canadian North. 1983. 33 pp. $3.00.

20641 Aspects particuliers du froid dans le nord canadien. 1983. 33 pp. $3.00

20642 Proceedings of a Symposium on Monitoring and Assessment of Airborne Pollutants with Special Emphasis on Long-range Transport and Deposition of Acidic Materials and Workshop on Air and Precipitation Monitoring Networks.
Comptes rendus du symposium sur la surveillance et l'évaluation des polluants en suspension dans l'air et notamment sur le transport à grande distance et le dépôt de substances acides et Atelier sur les réseaux de surveillance de l'air et des précipitations.
1983. 502 pp. $8.00.

20643 Interactions of Selenium. 1983. 85 pp. $5.00

20644 Interactions du sélénium avec d'autres éléments. 1983. 85 pp. $5.00

20645 Impact Assessments in Lotic Environments - Methoxychlor. 1983. 130 pp. $5.00

20646 Evaluation des effets du méthoxychlore dans les milieux lotiques. 1984. 144 pp. $5.00

20647 2,4-D: Some Current Issues. 1983. 99 pp. $5.00

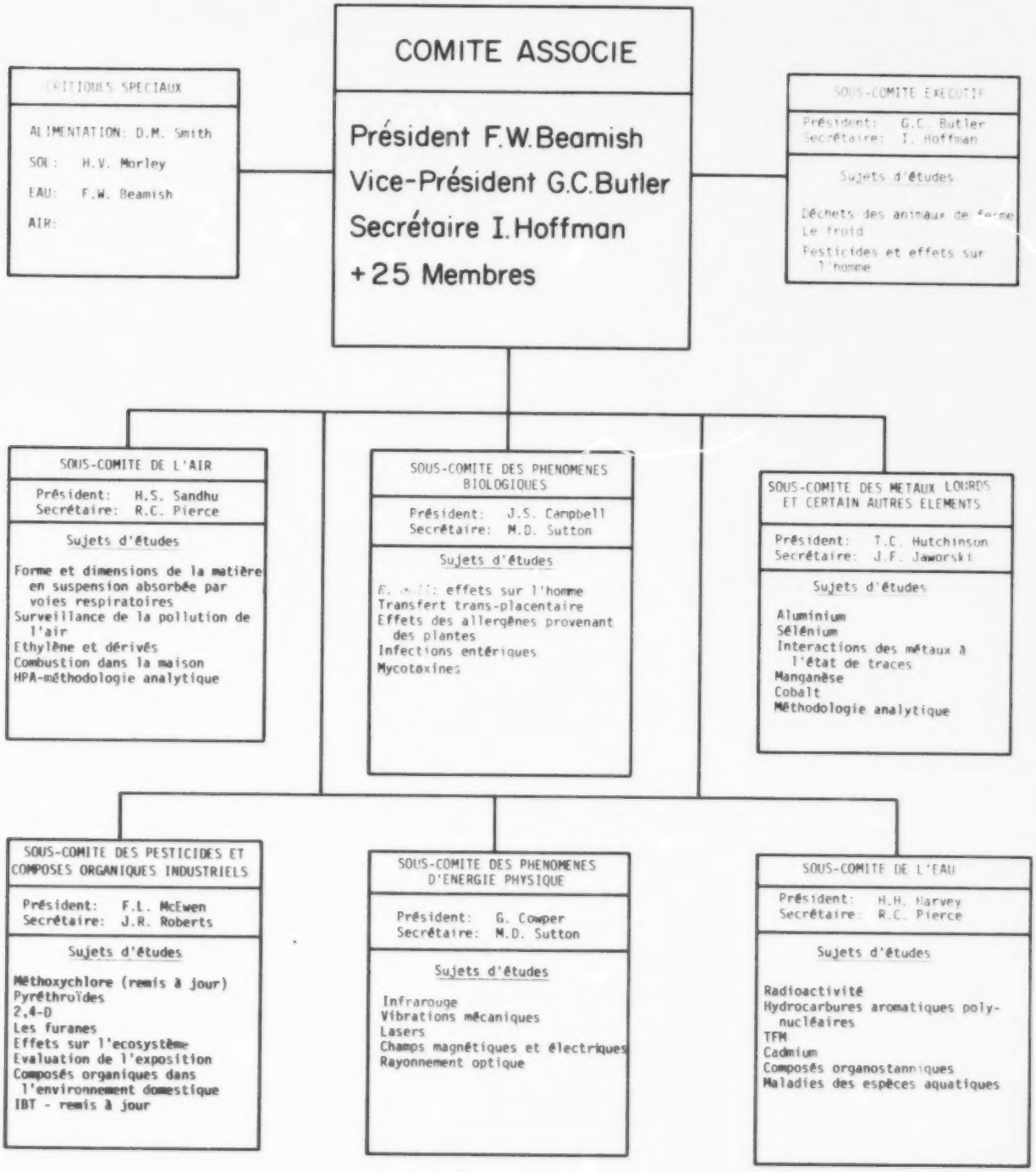
20648 2,4-D: quelques questions actuelles. 1984. 106 pp. $5.00

NRCC No. / CNRC nº	
22488	TFM and Bayer 73: Lampricides in the Aquatic Environment. 1985. 184 pp. $5.00.
22490	Environmental Aspects of *Escherichia coli* in Human Health. 1984. 76 pp. $5.00.
22492	Post "IBT" Assessment of Critical Laboratory Studies on the Mammalian and Avian Toxicology of Fenitrothion. 1984. 110 pp. $5.00.
22493	Evaluation des principles études de laboratoire sur la toxicité du fénitrothion pour les mammifères et les oiseaux réalisée à la suite de "l'affaire IBT". 1984. 114 pp. $5.00.
22494	Organotin Compounds in the Aquatic Environment: Scientific Criteria for Assessing Their Effects on Environmental Quality. 1985. 284 pp. $10.00.
22496	Ethylene in the Environment: Scientific Criteria for Assessing Its Effects on Environmental Quality. 1985. 183 pp. $8.00.
22844	Exposure of the Hand to Vibration in Industry. 1984. 63 pp. $5.00.
22846	Polychlorinated Dibenzofurans: Criteria for Their Effects on Humans and the Environment. 1984. 243 pp. $8.00.
22848	Mycotoxins: A Canadian Perspective. 1985. 185 pp. $8.00.
23917	Chromium Update 1984: Environmental and Nutritional Effects of Chromium. 1985. 56 pp. $5.00.

Available through prepaid purchase orders from

En vente, moyennant commandes prepayées, au Service des

Publications, NRCC/CNRC
Ottawa, Ontario K1A 0R6

ORGANIGRAMME

COMITE ASSOCIE SUR LES CRITERES SCIENTIFIQUES CONCERNANT L'ETAT DE L'ENVIRONNEMENT